中国科学: 地球科学 2010 年 第 40 卷 第 11 期: 1543 ~ 1551
www.scichina.com earth.scichina.com
《中国科学》杂志社
SCIENCE CHINA PRESS

论 文

扬子克拉通内新元古代中期酸性火山岩的年代学及其地质意义

汪正江[①*], 王剑[①], 段太忠[②], 谢渊[①], 卓皆文[①③], 杨平[①]

① 国土资源部成都地质矿产研究所, 成都 610081;
② Marathon Oil UK LTD, Aberdeen, Scotland, AB15 6FZ, UK;
③ 中国地质科学院研究生部, 北京 100037
* E-mail: wzjcf@sina.com, cdwzhengjiang@cgs.gov.cn

收稿日期: 2009-05-26; 接受日期: 2010-04-08
中国地质调查局地质调查项目(编号: 1212010733505)资助

摘要 报道了贵州北部板溪群鹅家坳组晶屑凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 结果显示扬子克拉通内板溪群沉积中期广泛的酸性火山事件的年龄是~780 Ma. 研究表明它们与扬子克拉通周边同期基性岩墙群和火山岩也构成了克拉通范围的双峰式岩浆活动系列, 该期克拉通范围的双峰式火山岩浆组合仅是新元古代中期(835~720 Ma)强烈的幕式火成岩系列的一部分. 由此可见, 扬子克拉通新元古代中期广泛的双峰式、幕式岩浆火山事件系列与弧陆碰撞造山构造模式是矛盾的, 它们是裂解构造过程的记录, 可能与导致 Rodinia 超大陆裂解的幕式地幔柱活动有关.

关键词
扬子克拉通
新元古代中期
板溪群鹅家坳组
SHRIMP 锆石 U-Pb 测年
幕式双峰式火成岩系列

华南的板溪期沉积(包括板溪群、下江群等及其相当沉积)是一套沉积序列特殊、层位特殊和沉积构造背景特殊的地层单元. 沉积序列特殊表现在: 它主要为一套陆源碎屑夹大量晶屑凝灰岩和沉凝灰岩夹层沉积[1~4], 沉积厚度巨大, 沉积速率高, 成熟度低(各种岩屑含量高, 砂岩杂基含量高). 层位特殊是指: 板溪群处在晋宁运动不整合面之上, 是一次造山运动后新生盆地的沉积充填[5~8], 却又伏于南华冰期沉积之下, 与冰期沉积特征迥异. 沉积构造背景的特殊性表现在: 它可能是冰期前与大量火山岩浆活动相伴的活动构造背景下的沉积盆地快速充填, 而这些延续约 100 Ma(825~735 Ma)的火山岩浆事件又显示出某些阶段性特征, Li[9], Li 等[10~14], Ernst 等[15]和 Wang 等[16]认为可能与导致 Rodinia 裂解的地幔柱活动有关.

因此, 对板溪群这些特殊性的研究, 对于认识和探讨新元古代 Rodinia 超大陆裂解、地幔柱活动和古气候的急剧变化机制等相关问题或将具有重要的启示意义.

本文着重对处于扬子克拉通内的铜仁瓦屋和清镇下坝(上麦城)地区的板溪群鹅家坳组进行了研究, 对其中的同沉积晶屑凝灰岩进行了 SHRIMP 锆石 U-Pb 测年工作, 并结合前人研究成果, 对新元古代中期幕式火山岩浆事件的地球动力学背景进行了探讨.

引用格式: Wang Z J, Wang J, Duan T Z, et al. Geochronology of middle Neoproterozoic volcanic deposits in Yangtze Craton interior of South China and its implications to tectonic settings. Sci China Earth Sci, 2010, 53: 1307–1315, doi: 10.1007/s11430-010-4012-1

1 地质背景与岩石学特征

黔东新元古代中期从北往南发育 3 个并列岩群: 黔东北板溪群、黔东下江群和黔东南-桂北丹洲群, 它们均为四堡或晋宁造山运动后, 不整合在梵静山群和四堡群等之上, 在湘西和黔北低角度不整合或平行不整合、在桂北和黔南整合伏于南华冰期沉积之下的浅变质岩系[8], 显示为一个相对完整的沉积盆地演化旋回, 且后期沉积变形和变质较弱, 为扬子克拉通上的第一套沉积盖层. 3 个岩群分别代表新元古代中期扬子古陆块边缘不同部位的沉积组合. 3 个岩群虽命名地不同、岩性有差异, 但总体上是从北向南由边缘相区逐渐过渡到盆地相区, 沉积序列可对比性良好.

黔东新元古代板溪期沉积分布广泛、特征明显. 主要沿梵净山-佛顶山一线背斜核部、雪峰山轴部以及黔中隆起上的部分背斜的核部呈北东向展布(图 1(a)).

本次主要研究了铜仁瓦屋和清镇上麦城板溪群鹅家坳组. 铜仁瓦屋取样点位于雪峰山西侧的下溪复背斜的核部(图 1(b)), 距离湖南芷江鱼溪口板溪群标准剖面约 30 km. 样品 TRWW-1 和 TRWE-1 的经纬度分别为 109°21.80′E, 27°38.34′N 和 109°22.27′E, 27°37.86′N. TRWW-1 的取样点比 TRWE-1 更接近背斜核部. 背斜出露最老地层就是板溪群的鹅家坳组下段. 鹅家坳组主要岩性为变余岩屑杂砂岩、粉砂岩夹凝灰质砂岩、沉凝灰岩和晶屑凝灰岩, 其中发育平行层理和多种条带等沉积构造. 样品 TRWW-1 取自鹅家坳组下段中部, TRWE-1 取自鹅家坳组下段上部(图 1(e)).

TRWE-1 的岩性为晶屑玻屑凝灰岩, 晶屑含量约 30%, 主要为石英和长石, 石英全为单晶, 边缘有溶蚀, 长石粘土化明显; 塑性岩屑玻屑含量约为 50%, 全由绢云母替代, 仅保留岩屑外形, 长轴定向, 平行层面分布; 胶结物为火山灰泥, 全分解为显微鳞片状绢云母, 紧密定向排列.

TRWW-1 为沉凝灰岩, 岩石具有显微鳞片变晶结构、变余凝灰结构和千枚状构造(浅变质). 其中碎屑含量大于 20%, 主要为石英和长石, 长石由于绢云母化, 表面不干净, 多成板条状阴影, 绢云母含量大于 75%, 岩石中塑性玻屑、岩屑、胶结物和火山灰泥均已蚀变为显微鳞片状绢云母, 密集定向排列.

清镇上麦城附近取样点位于贵阳西的兴隆场-铁厂复背斜的南段(图 1(c)), 经纬度为 106°29.61′E, 26°42.45′N, 背斜核部出露最老地层也为板溪群鹅家坳组下段, 样品位于鹅家坳组下段上部(图 1(d)). 鹅家坳组出露厚度约为 450 m, 未见底, 岩性以深灰、灰和灰绿色薄层至厚层长石岩屑砂岩、长石石英砂岩、杂砂岩和粉砂岩与玻屑凝灰岩、晶屑凝灰岩和层凝灰岩互层为主夹粉砂质粘土岩和凝灰质粘土岩等. 岩石种类繁多, 实际上是火山碎屑岩类与砂岩类的互层, 组成若干韵律沉积.

样品 QZXB-3 的岩性为晶屑玻屑凝灰岩, 岩石具有细粒凝灰结构, 含少量砾石. 岩石中塑性玻屑含量约为 40%, 晶屑约为 35%, 胶结物 15%~20%. 晶屑主要有石英、长石及少量黑云母, 石英部分有溶蚀; 长石有更-钠长石和正长石, 由于粘土化, 多数表面不干净, 部分更-钠长石具有聚片双晶纹; 塑性玻屑多已脱玻化为隐晶质, 与晶屑相间分布; 胶结物(火山灰泥等)已分解为绢云母和少量硅质, 绢云母定向分布. 砾石大小不一, 最大粒径约为 4 mm, 由铁泥质火山碎屑组成.

综上所述, 黔东北鹅家坳组广泛的沉凝灰岩主要为长英质的, 即主要为酸性火山岩, 这与野外观察的结果是一致的.

2 分析方法与数据处理

锆石样品的具体的处理过程是破碎、淘洗和重液分离, 然后进行电磁分离, 分为无磁、电磁和强磁等不同部分, 最后对锆石进行手工挑纯. 根据锆石颗粒大小, 分别将其与标样一起粘在树脂台上, 打磨抛光, 去掉约锆石颗粒一半的厚度, 尽可能得到横切颗粒中心的剖面, 制成样靶(mount), 详见宋彪等[17]. 在离子探针测试前, 先在电子探针上进行了阴极发光研究, 以确定锆石的内部结构和成因. 最后经清洗镀金, 再在 SHRIMP Ⅱ上进行同位素测试, 具体的操作方法见 Williams[18]. 所用的标准锆石 SL13(标准值 U= 238×10^{-6}, t=572 Ma)用于校正 U 含量, TEM 用于校正年龄(标准值为 t=417 Ma), 每分析 3 个样品锆石点进行一次标样 TEM 测定, 对标样锆石 TEM 的 U/Pb 比值分析偏差为 0.8%~2.3%(1σ). 锆石阴极发光研究和 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析均在北京离子探针中心完成.

数据处理采用 Ludwig SQUID1.0 及 ISPLOT 程序.

图 1　研究区及采样位置示意图

(a) 黔北地区板溪群露头分布, (b) 铜仁瓦屋鹅家坳组样品位置, (c) 清镇上麦城鹅家坳组样品位置, (d) 清镇上麦城鹅家坳组剖面及取样位置, (e) 铜仁瓦屋鹅家坳组剖面及其样品位置

所有年龄结果均采用 ^{204}Pb 含量作了普通铅校正. 单个测定的数据点误差采用 1σ. 年龄结果采用 $^{206}Pb/^{238}U$ 加权平均值, 误差为 2σ(95%的置信度).

3 分析结果

3.1 清镇上麦城鹅家坳组

显微镜下样品 QZXB-3 晶屑凝灰岩的锆石多为短柱状, 大小约 50 μm×100 μm, 晶形好, 无裂缝, 晶体干净透明. 阴极发光影像显示样品大部分锆石具明显的岩浆成因韵律环带构造(图 2), 残留锆石较多, 部分锆石有熔蚀; 少量锆石颗粒中见包裹体. QZXB-3 的 17 个测点的 Th 含量变化于 38~482 μg/g 之间, U 变化于 42~243 μg/g 之间, Th/U 比值变化于 1.5~5.2 之间(表 1), 也显示岩浆成因特征. 测年结果表明, 除 11.1 测点外, 所有测点均沿谐和曲线分布. 由于 14.1 点 U(=316)和 Th(=482)含量过高, 测试年龄较低(528.2 Ma); 3.1, 6.1 和 11.1 测点为继承锆石, 年龄分

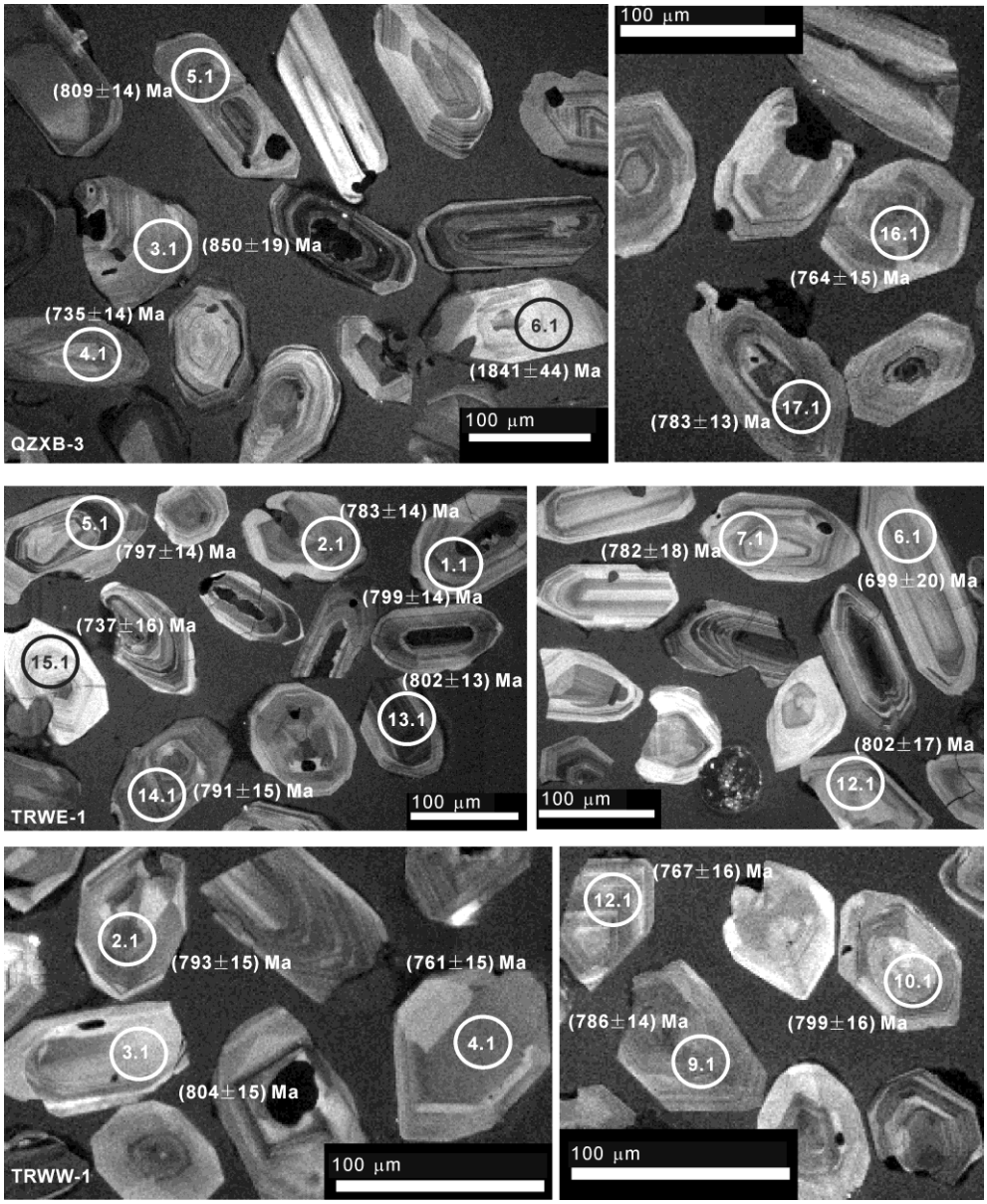

图 2 清镇上麦城和铜仁瓦屋鹅家坳组锆石阴极发光图像及其相应测试年龄

表 1　黔北板溪群鹅家坳组晶屑凝灰岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果 [a)]

样品测点	$^{206}Pb_c$ (%)	U(μg/g)	Th(μg/g)	$^{206}Pb^*$(μg/g)	Th/U	$^{207}Pb^*/^{206}Pb^*\pm1\sigma$	$^{207}Pb^*/^{235}U\pm1\sigma$	$^{206}Pb^*/^{238}U\pm1\sigma$	$^{206}Pb/^{238}U\pm1\sigma$年龄(Ma)
QZXB-3: 26°42.45′ N, 106°29.61′E									
1.1	0.00	42	38	4.47	3.8	0.0695 ± 3.8	1.197 ± 4.5	0.1249 ± 2.4	759 ± 17
2.1	0.18	144	252	15.5	3.2	0.0640 ± 3.2	1.104 ± 3.7	0.1251 ± 1.9	760 ± 13
3.1	1.13	111	60	13.6	5.2	0.0785 ± 5.2	1.526 ± 5.7	0.1410 ± 2.3	850 ± 19
4.1	0.25	121	131	12.6	2.9	0.0652 ± 2.9	1.087 ± 3.5	0.1208 ± 2.0	735 ± 14
5.1	0.08	163	100	18.7	2.1	0.0657 ± 2.1	1.210 ± 2.8	0.1337 ± 1.9	809 ± 14
6.1	0.31	24	23	6.76	2.9	0.1180 ± 2.9	5.38 ± 4.0	0.3305 ± 2.8	1841 ± 44
7.1	0.16	111	96	12.2	2.8	0.0661 ± 2.8	1.172 ± 3.4	0.1285 ± 2.0	780 ± 15
8.1	0.26	96	130	10.8	3.2	0.0622 ± 3.2	1.114 ± 3.8	0.1300 ± 2.1	788 ± 15
9.1	0.27	76	127	8.28	4.5	0.0641 ± 4.5	1.114 ± 5.0	0.1260 ± 2.1	765 ± 15
10.1	0.72	65	39	7.38	3.6	0.0604 ± 3.6	1.093 ± 4.2	0.1311 ± 2.2	794 ± 16
11.1	0.00	76	52	9.28	2.5	0.0697 ± 2.5	1.367 ± 3.3	0.1422 ± 2.1	857 ± 16
12.1	0.35	45	43	4.82	5.2	0.0647 ± 5.2	1.114 ± 5.8	0.1248 ± 2.5	758 ± 18
13.1	0.25	69	98	7.72	3.7	0.0685 ± 3.7	1.220 ± 4.3	0.1292 ± 2.1	783 ± 16
14.1	0.00	316	482	23.2	1.8	0.0598 ± 1.8	0.704 ± 2.5	0.0854 ± 1.8	528.2
15.1	0.62	102	107	11.8	4.4	0.0609 ± 4.4	1.125 ± 4.8	0.1341 ± 2.0	811 ± 15
16.1	0.27	107	93	11.6	3.5	0.0618 ± 3.5	1.072 ± 4.1	0.1259 ± 2.1	764 ± 15
17.1	0.00	243	225	26.9	1.5	0.0661 ± 1.5	1.178 ± 2.3	0.1292 ± 1.8	783 ± 13
TRWE-1: 27°37.86′N, 109°22.27′E									
1.1	0.67	194	168	22.2	0.89	0.0663 ± 3.1	1.206 ± 3.6	0.1319 ± 1.8	799 ± 14
2.1	0.14	113	126	12.6	1.15	0.0644 ± 2.4	1.147 ± 3.1	0.1292 ± 1.9	783 ± 14
3.1	0.50	214	270	22.8	1.30	0.0651 ± 2.9	1.104 ± 3.4	0.1229 ± 1.8	747 ± 13
4.1	1.26	44	45	4.93	1.05	0.0590 ± 9.2	1.039 ± 9.5	0.1277 ± 2.4	775 ± 18
5.1	0.35	170	257	19.3	1.56	0.0623 ± 2.9	1.130 ± 3.4	0.1317 ± 1.8	797 ± 14
6.1	3.13	31	45	3.13	1.49	0.074 ± 18	1.16 ± 18	0.1145 ± 3.1	699 ± 20
7.1	0.34	68	90	7.56	1.36	0.0643 ± 4.2	1.143 ± 4.9	0.1289 ± 2.5	782 ± 18
8.1	0.56	133	168	14.6	1.30	0.0615 ± 3.7	1.073 ± 4.1	0.1266 ± 1.9	768 ± 14
9.1	0.58	105	102	11.4	1.00	0.0652 ± 3.7	1.131 ± 4.2	0.1258 ± 2.0	764 ± 14
10.1	0.44	68	81	7.62	1.22	0.0679 ± 4.1	1.212 ± 4.7	0.1295 ± 2.2	785 ± 16
11.1	0.42	123	83	14.7	0.69	0.0674 ± 2.3	1.289 ± 3.0	0.1387 ± 1.9	837 ± 15
12.1	0.91	61	63	7.00	1.06	0.0659 ± 6.2	1.204 ± 6.6	0.1325 ± 2.2	802 ± 17
13.1	0.14	453	255	51.7	0.58	0.06455 ± 1.5	1.180 ± 2.2	0.1326 ± 1.7	802 ± 13
14.1	0.34	171	236	19.2	1.42	0.0639 ± 2.8	1.151 ± 3.5	0.1306 ± 2.0	791 ± 15
15.1	0.83	89	123	9.37	1.42	0.1200 ± 8.9	2.00 ± 9.2	0.1211 ± 2.2	737 ± 16
TRWW-1: 27°38.34′N, 109°21.80′E									
2.1	0.00	99	199	11.2	2.08	0.0654 ± 2.4	1.181 ± 3.1	0.1310 ± 1.9	793 ± 15
3.1	0.45	72	55	8.30	0.78	0.0667 ± 3.7	1.222 ± 4.2	0.1329 ± 2.0	804 ± 15
4.1	0.48	75	96	8.14	1.32	0.0628 ± 4.3	1.086 ± 4.8	0.1253 ± 2.1	761 ± 15
5.1	0.10	188	275	21.1	1.52	0.0643 ± 1.9	1.158 ± 2.6	0.1307 ± 1.8	792 ± 13
6.1	0.24	129	205	14.3	1.65	0.0638 ± 2.7	1.131 ± 3.3	0.1286 ± 1.9	780 ± 14
7.1	0.42	68	78	7.43	1.18	0.0628 ± 5.3	1.094 ± 5.7	0.1264 ± 2.1	768 ± 15
8.1	0.00	99	105	10.7	1.10	0.0712 ± 2.3	1.233 ± 3.1	0.1256 ± 2.2	763 ± 16
9.1	0.08	148	252	16.5	1.75	0.0645 ± 2.1	1.153 ± 2.8	0.1297 ± 1.9	786 ± 14
10.1	0.60	60	68	6.62	1.18	0.0609 ± 3.9	1.079 ± 4.5	0.1285 ± 2.1	779 ± 16
11.1	0.09	815	867	85.1	1.10	0.06433 ± 0.92	1.077 ± 1.9	0.1214 ± 1.7	739 ± 12
12.1	0.18	144	138	15.6	0.99	0.0709 ± 3.5	1.235 ± 4.2	0.1263 ± 2.2	767 ± 16
13.1	0.31	125	168	14.5	1.38	0.0635 ± 3.0	1.174 ± 3.5	0.1342 ± 1.9	812 ± 14
14.1	1.07	33	31	3.66	0.97	0.0652 ± 4.7	1.141 ± 5.3	0.1271 ± 2.4	771 ± 17
15.1	0.81	66	46	7.76	0.72	0.0624 ± 3.5	1.162 ± 4.1	0.1350 ± 2.0	817 ± 16

a) 误差为 1σ, Pb_c 和 Pb^*分别代表普通铅和放射成因铅, 普通铅校正采用 ^{204}Pb 测量值

别为 850, 1841 和 857 Ma, 其余 13 个测点获得整个样品的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为(780±9) Ma (*n*=13, MSWD=1.50)(图 3). 本文认为这一年龄就是火山喷发年龄, 即样品晶屑凝灰岩的沉积年龄.

3.2 铜仁瓦屋鹅家坳组

显微镜下样品 TRWE-1 晶屑凝灰岩的锆石多为粒状和短柱状, 颗粒细小, 直径约 30~50 μm, 部分达 100 μm, 晶体表面清洁色鲜. 阴极发光影像显示样品大部分锆石具明显的岩浆成因韵律环带构造(图 2), 残留锆石较少. TRWE-1 的 15 个测点的 Th 含量变化于 45~270 μg/g 之间, U 变化于 31~453 μg/g 之间, Th/U 比值变化于 0.58~1.56 之间(表 1), 也显示岩浆成因特征. 测年结果表明, 除 15.1 不在谐和线上外, 其余测点均沿谐和曲线分布. 由于 6.1 点 $^{204}Pb_c$(=3.13) 含量过高, 测试年龄较低(为 699 Ma); 11.1 测点为继承锆石, 年龄为 837 Ma, 其余 12 个测点获得整个样品的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为(782±8) Ma (*n*=12, MSWD=1.6)(图 3). 因此, 这一年龄就是火山岩形成年龄, 即晶屑凝灰岩的沉积年龄.

显微镜下样品 TRWW-1 沉凝灰岩的锆石多为浅红色和微紫色, 粒状和短柱状, 个别长柱状, 金刚光泽、透明, 晶体表面清洁, 晶形好, 特别是双锥明显. 阴极发光影像显示样品锆石具明显的岩浆成因韵律环带构造, 残留锆石少见(图 2), 颗粒较小, 但均匀, 大小为 30 μm×50 μm~50 μm×100 μm. TRWW-1 的 14 个测点的 Th 含量变化于 31~867 μg/g 之间, U 变化于 33~815 μg/g 之间, Th/U 比值变化于 0.72~2.08 之间(表 1), 也显示岩浆成因特征. 测年结果表明, 所有测点均沿或靠近谐和曲线分布. 由于 11.1 点 U (=815) 和 Th(=867)含量过高, 测试年龄较低(739 Ma), 其余 13 个测点获得整个样品的 $^{206}Pb/^{238}U$ 年龄的加权平均值为(785±8) Ma (*n*=13, MSWD=1.50)(图 3). 因此, 这一年龄可以代表该沉凝灰岩的沉积年龄.

综上所述, 3 个样品获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄在误差范围内是一致的, 显示黔北鹅家坳组广泛

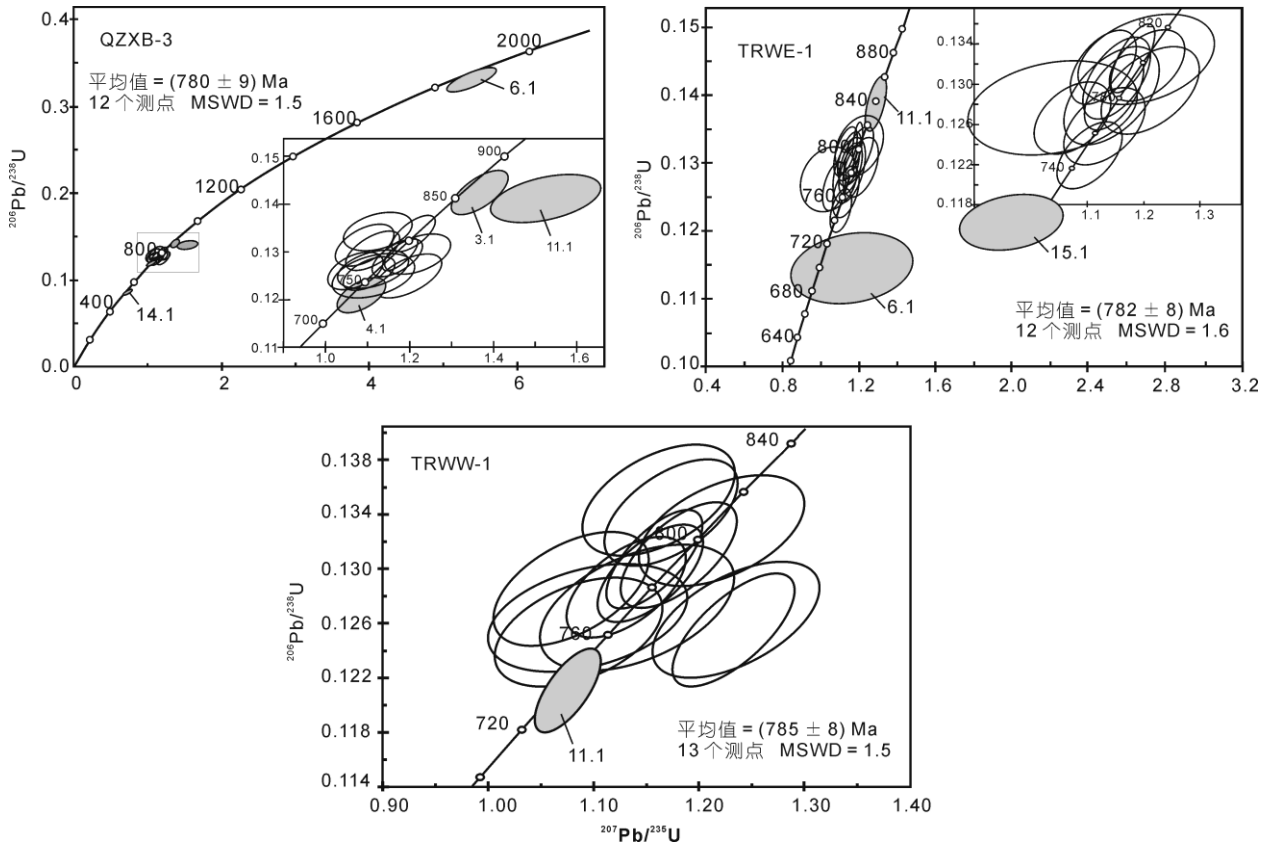

图 3 清镇上麦城(下坝)和铜仁瓦屋鹅家坳组 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄谐和图

实心椭圆为排除在年龄计算外的测点

的酸性(长英质)火山岩喷发事件的时代为 785~780 Ma.

4 讨论

在讨论新元古代气候巨变和生物圈演化事件时, 必须涉及新古代中期强烈的火山岩浆活动, 它不仅是新元古代大陆地壳生长与再造的主要过程[19,20], 也可能是新元古代中后期全球冰期形成与生物多样性事件的重要原因(key trigger). 因此, 对新元古代中期广泛的火山岩浆事件的探究具有重要的实践和理论意义.

总结前人研究[9~16,21~23]显示, 华南新元古代中期的火山岩浆活动具有 3 个显著的特点: 双峰式、多幕式(或阶段性)和广泛性. 双峰式特点表现在以酸性侵入岩、酸性火山岩与基性-超基性侵入岩和溢流玄武岩组合为主, 到目前为止, 还未见明显的或具有规模的中性岩浆作用存在的报道, 显示出明显的裂谷岩浆作用特征.

新元古代中期火山岩浆活动的阶段性体现在从约 850~720 Ma 之间, 岩浆活动显示明显的多幕次特征[13], 晋宁期约 830~745 Ma 的岩浆事件被认为是扬子克拉通对新元古代地幔柱作用的响应, 其中 830~795 和 780~745 Ma 分别对应了 Rodinia 超大陆开始张裂和最终裂解两个演化阶段[12]. 其广泛性表现在 830~790 Ma 的岩浆事件在扬子克拉通周边地区[9~12,24~30]和内部[31~33]均有广泛记录, 而~755 Ma 的岩浆事件在扬子克拉通西缘[13,34~37]、北缘[38,39]以及大别-苏鲁造山带[40]也有广泛记录.

Li 等[14]进一步研究指出, 约 850~740 Ma 之间的剧烈裂谷火山岩浆活动是幕式(~825, ~780 和~750 Ma)地幔柱活动事件形成的. Ernst 等[15]将分布在全球不同地区的元古代火山岩浆岩群称为相应的大火成岩省(Large Igneous Provinces, LIPs), 并认为 825, 800, 780 和 755 Ma(可能还包括 720 Ma)岩浆事件与 Rodinia 超大陆裂解相关.

作者本次在扬子克拉通内部获得的黔东北板溪期鹅家坳组凝灰岩火山岩~780 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 应属于其中的第二幕火山岩浆事件. 同时, 值得注意的是, 这一扬子克拉通范围的广泛的酸性火山活动与同期西缘康定群基性岩墙群[36]和盐边群荒田组基性火山岩[41], 北缘的望江山基性岩墙群[42], 以及南缘的桂北三门街基性火山岩浆事件[43]等也构成一个克拉通范围的双峰式火山岩浆系列(表 2). 同时它们与北美西部 780 Ma 的 Gunbarrel 巨型岩墙群[44,45]、塔里木板块库地 783 Ma 双模式岩浆岩[46]和库鲁克塔格 777 Ma 基性岩墙群[47]的时代也是一致的. 因此, 它们是否是 Rodinia 超大陆裂解高峰期[12](780~745 Ma)到来的前兆, 抑或是 755~750 Ma 时期 Rodinia 超大陆范围的双模式岩浆活动[14]的序幕呢?

综上可见, 华南新元古代中期广泛的双峰式、多阶段强烈的火山岩浆活动只是全球同期火成岩系列的一部分, 且该火成岩系列是新元古代地壳生长和

表 2 上扬子陆块新元古代中期火成岩同位素年龄统计

位置	岩体或层位	岩性	成因相	年龄(Ma)	测试方法	数据来源	阶段
扬子北缘	望江山岩体	基性岩墙群	浅成岩	785	Sm-Nd	文献[42]	II
	碧口群	顶部中酸性火山岩	火山岩	776	SHRIMP	文献[48]	II
扬子南缘	桂北丹洲群	三门街流纹英安岩	火山岩	765±14	U-Pb	文献[43]	III
		三门街基性岩墙群	浅成岩	761±08	TIMS U-Pb	文献[49]	III
	越北猛洞岩群	石英角闪斜长片麻岩	火山岩	761±12		文献[50]	III
扬子西缘	康定群	雅江桥花岗质片麻岩	深成岩	778±11	SHRIMP U-Pb	文献[51]	II
		沙坝花岗质片麻岩	深成岩	772±15		文献[52]	II
		瓦斯沟基性岩墙群	浅成岩	779±06		文献[36]	II
	盐边群	荒田组玄武岩	火山岩	782 Ma		文献[41]	II
扬子克拉通内	莲沱组	莲沱组底部凝灰岩	火山岩	766±18	U-Pb	文献[31]	III
	铜仁板溪群	鹅家坳组下段凝灰岩	火山岩	782±08	SHRIMP U-Pb	本文	II
		鹅家坳组下段凝灰岩	火山岩	785±08		本文	II
	清镇板溪群	鹅家坳组下段凝灰岩	火山岩	780±09		本文	II

再造的重要过程. 因此, 李献华等[53]提出了华南中元古代晚期至新元古代中期从造山运动到陆内裂谷的地球动力学演化模型, 作者认为该模型符合该地质历史时期全球的相关地质实际, 较为清晰地揭示了新元古代中期广泛而强烈的双峰式火成岩系列的地球动力学过程.

5 结论

黔北板溪群鹅家坳组中部同沉积晶屑凝灰岩(酸性火山岩)SHRIMP 锆石 U-Pb 定年结果为 780 Ma 左右, 与扬子周缘同期基性岩墙群和基性火山岩构成了克拉通范围的双峰式岩浆活动系列. 结合前人研究也显示, 该期克拉通范围的双峰式火山岩浆事件仅是新元古代中期(835~720 Ma)强烈的幕式火成岩系列的一部分. 由此可见, 扬子克拉通新元古代中期广泛的双峰式和幕式岩浆火山事件系列是不支持弧陆碰撞造山带构造模式的, 它们是裂解构造过程的记录, 可能与导致 Rodinia 超大陆裂解的幕式地幔柱活动有关.

致谢 样品锆石挑选得到了成都地质矿产研究所苏俊周研究员的热情帮助; 岩石薄片鉴定得到了成都矿产研究所闵际坤研究员的大力帮助; 北京离子探针中心的颉颃强和张维博士对 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析提供大力支持和帮助; 两名审稿专家对文稿提出了不少中肯的意见和建议, 在此一并致以衷心感谢.

参考文献

1 吴雪华, 凌长富, 江朝洋, 等. 黔东上板溪群地层中变质火山碎屑岩的初步认识. 地质论评, 1965, 23: 55—58
2 卢焕章, 王中刚, 陈文一, 等. 贵州东南部浊积岩中金矿的地质特征和成因. 矿床地质, 2006, 25: 369—387
3 湖南省地质矿产局. 湖南省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 1—40
4 贵州省地质矿产局. 贵州省岩石地层. 武汉: 中国地质大学出版社, 1997. 23—47
5 刘鸿允, 李曰俊. 论板溪群的时代归属和层位对比. 地质科学, 1992(增刊): 1—16
6 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. 北京: 地质出版社, 2000. 1—146
7 王剑, 付修根, 陈文西, 等. 北羌塘沃若山地区火山岩年代学及区域地球化学对比——对晚三叠世火山-沉积事件的启示. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2008, 38: 33—43
8 汪正江. 关于建立"板溪系"的建议及其基础的讨论. 地质论评, 2008, 54: 296—306
9 Li X H. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze Block: Timing of Neoproterozoic Jinning: Orogeny in SE China and implications for Rodinia Assembly. Precambrian Res, 1999, 97: 43—57
10 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China? Earth Planet Sci Lett, 1999, 173: 171—181
11 Li X H, Li Z X, Ge W C, et al. Neoproterozoic granitoids in South China: Crustal melting above a mantle plume at ca. 825 Ma? Precambrian Res, 2003, 122: 45—83
12 Li Z X, Li X H, Kinny P D, et al. Geochronology of Neoproterozoic syn-rift magmatism in the Yangtze Craton, South China and correlations with other continents: Evidence for a mantle super-plume that broke up Rodinia. Precambrian Res, 2003, 22: 85—109
13 Li X H, Li Z X, Sinclair J A, et al. Revisiting the "Yanbian Terrane": Implications for Neoproterozoic tectonic evolution of the western Yangtze Block, South China. Precambrian Res, 2006, 151: 14—30
14 Li Z X, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration, and break-up history of Rodinia: A synthesis. Precambrian Res, 2008, 160: 179—210
15 Ernst R E, Wingate M T D, Buchan K L, et al. Global record of 1600–700 Ma Large Igneous Provinces (LIPs): Implications for the reconstruction of the proposed Nuna (Columbia) and Rodinia supercontinents. Precambrian Res, 2008, 160: 159—178
16 Wang X C, Li X H, Li W X, et al. Variable involvements of mantle plumes in the genesis of mid-Neoproterozoic basaltic rocks in South China: A review. Gondwana Res, 2009, 15: 381—395
17 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
18 Williams I S. U-Th-Pb geochronology by ion microprobe. In: Mickibben M A, Shanks III W C, Ridley W I, eds. Applications of Micro Analytical Techniques to Understanding Mineralizing Processes. Rev Econ Geol, 1998, 7: 1—35
19 Zheng Y F, Zhang S B, Zhao Z F, et al. Contrasting zircon Hf and O isotopes in the two episodes of Neoproterozoic granitoids in South China: Implications for growth and reworking of continental crust. Lithos, 2007, 96: 127—150
20 Stern R J. Neoproterozoic crustal growth: The solid Earth system during a critical episode of Earth history. Gondwana Res, 2008, 14: 33—50

21 李献华, 周汉文, 李正祥, 等. 扬子块体西缘新元古代双峰式火山岩的锆石 U-Pb 年龄和岩石化学特征. 地球化学, 2001, 30: 315—322
22 Li X H, Li Z X, Zhou H, et al. U-Pb zircon geochronology, geochemistry and Nd isotopic study of Neoproterozoic bimodal volcanic rocks in the Kangdian Rift of South China: Implications for the initial rifting of Rodinia. Precambrian Res, 2002, 113: 135—155
23 Wang J, Li Z X. History of Neoproterozoic rift basins in South China: Implications for Rodinia break-up. Precambrian Res, 2003, 122: 141—158
24 李献华. 广西北部新元古代花岗岩锆石 U-Pb 年代学及其构造意义. 地球化学, 1999, 28: 1—9
25 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. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20: 271—273
26 曾雯, 周汉文, 钟增球, 等. 黔东南新元古代岩浆岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄及其构造意义. 地球化学, 2005, 34: 548—556
27 Zhou M F, Ma Y X, Yan D P, et al. The Yanbian Terrane (southern Sichuan Province, SW China): A Neoproterozoic arc assemblage in the western margin of the Yangtze Block. Precambrian Res, 2006, 144: 19—38
28 王孝磊, 周金城, 邱检生, 等. 桂北新元古代强过铝花岗岩的成因: 锆石年代学和 Hf 同位素制约. 岩石学报, 2006, 22: 326—342
29 Wu R X, Zheng Y F, Wu Y B, et al. Reworking of juvenile crust: Element and isotope evidence from Neoproterozoic granodiorite in South China. Precambrian Res, 2006, 146: 179—212
30 耿元生, 杨崇辉, 王新社, 等. 扬子地台西缘结晶基底的时代. 高校地质学报, 2007, 13: 429—441
31 郑永飞. 新元古代岩浆活动与全球变化. 科学通报, 2003, 48: 1705—1720
32 Zhou J C, Wang X L, Qiu J S. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou, South China: Coeval arc magmatism and sedimentation. Precambrian Res, 2009, 170: 27—42
33 凌文黎, 高山, 程建萍, 等. 扬子陆核与陆缘新元古代岩浆事件对比及其构造意义——来自黄陵和汉南侵入杂岩 ELA-ICPMS 锆石 U-Pb 同位素年代学的约束. 岩石学报, 2006, 22: 387—396
34 Li Z X, Li X H, Zhou H W, et al. Grenvillian continental collision in South China: New SHRIMP U-Pb zircon results and implications for the configuration of Rodinia. Geology, 2002, 30: 163—166
35 Zhou M F, Yan D P, Allen K, et al. SHRIMP U-Pb zircon geochronological and geochemical evidence for Neoproterozoic arc-magmatism along the western margin of the Yangtze Block, South China. Earth Planet Sci Lett, 2002, 196: 51—67
36 林广春, 李献华, 李武显. 川西新元古代基性岩墙群的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄、元素和 Nd-Hf 同位素地球化学: 岩石成因与构造意义. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2006, 36: 630—645
37 Zhou M F, Yan D P, Wang C L, et al. Subduction-related origin of the 750 Ma Xuelongbao adakitic complex (Sichuan Province, China): Implications for the tectonic setting of the giant Neoproterozoic magmatic event in South China. Earth Planet Sci Lett, 2006, 248: 286—300
38 凌文黎, 任邦方, 段瑞春, 等. 南秦岭武当山群、耀岭河群及基性侵入岩群锆石 U-Pb 同位素年代学及其地质意义. 科学通报, 2007, 52: 1445—1456
39 Zhao J H, Zhou M F. Neoproterozoic adakitic plutons in the northern margin of the Yangtze Block, China: Partial melting of a thickened lower crust and implications for secular crustal evolution. Lithos, 2008, 104: 231—248
40 Zheng Y F, Fu B, Gong B, et al. Stable isotope geochemistry of ultrahigh pressure metamorphic rocks from the Dabie-Sulu orogen in China: Implications for geodynamics and fluid regime. Earth Sci Rev, 2003, 62: 105—161
41 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 扬子地台西缘盐边群玄武质岩石地球化学特征及 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄. 地质学报, 2005, 79: 805—813
42 凌文黎, 王歆华, 程建萍. 扬子北缘晋宁期望江山基性岩体的地球化学特征及其构造背景. 矿物岩石地球化学通报, 2001, 20: 218—221
43 Zhou J B, Li X H, Ge W C, et al. Age and origin of middle Neoproterozoic mafic magmatism in southern Yangtze Block and relevance to the break-up of Rodinia. Gondwana Res, 2007, 12: 184—197
44 Yan Q R, Wang Z Q, Hanson A D, et al. SHRIMP age and geochemistry of Bikou volcanic terrane: Implication for Neo-proterozoic tectonics on the north margin of the Yangtze Craton. Acta Geosci Sin, 2003, 77: 479—490
45 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. 地质科学, 2001, 36: 112—118
46 刘玉平, 叶霖, 李朝阳, 等. 滇东南发现新元古代岩浆岩: SHRIMP 锆石 U-Pb 年代学和岩石地球化学证据. 岩石学报, 2006, 22: 916—926
47 杜利林, 耿元生, 杨崇辉, 等. 扬子地台西缘新元古代 TTG 的厘定及其意义. 岩石矿物学杂志, 2006, 25: 273—281
48 陈岳龙, 罗照华, 赵俊香, 等. 从锆石 SHRIMP 年龄及岩石地球化学特征论四川冕宁康定杂岩的成因. 中国科学 D 辑: 地球科学, 2004, 34: 687—697
49 Harlan S S, Heaman L, LeCheminant A N, et al. Gunbarrel mafic magmatic event: A key 780 Ma time marker for Rodinia plate reconstructions. Geology, 2003, 31: 1053—1056
50 Park J K, Buchan K L, Harlan S S. A proposed giant radiating dyke swarm fragmented by the separation of Laurentia and Australia based on paleomagnetism of ca. 780 Ma mafic intrusions in western North America. Earth Planet Sci Lett, 1995, 132: 129—139
51 Zhang C L, Li Z X, Li X H, et al. Neoproterozoic bimodal intrusive complex in the southwestern Tarim block, NW China: Age, geochemistry and implications for the rifting of Rodinia. Int Geol Rev, 2006, 18: 112—128
52 Zhang Z Y, Zhu W B, Shu L S, et al. Neoproterozoic ages of the Kuluketage diabase dyke swarm in Tarim, NW China, and its relationship to the breakup of Rodinia. Geol Mag, 2009, 146: 150—154
53 李献华, 王选策, 李武显, 等. 华南新元古代玄武质岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷. 地球化学, 2008, 37: 382—398