

·基础地质·

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

高林志¹, 陈峻², 丁孝忠¹, 刘耀荣², 张传恒³,
张恒³, 刘燕学¹, 庞维华¹, 张玉海^{1,4}

GAO Lin-zhi¹, CHEN Jun², DING Xiao-zhong¹, LIU Yao-rong²,
ZHANG Chuan-heng³, ZHANG Heng³, LIU Yan-xue¹,
PANG Wei-hua¹, ZHANG Yu-hai^{1,4}

1. 中国地质科学院地质研究所, 北京 100037;

2. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410114;

3. 中国地质大学(北京), 北京 100083;

4. 北京离子探针中心, 北京 100037

1. *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China;*

2. *Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410114, Hunan, China;*

3. *China University of Geosciences, Beijing 100083, China;*

4. *Beijing SHRIMP Center, Beijing 100037, China*

摘要: 对冷家溪群及其上覆板溪群斑脱岩中的锆石进行研究, 测得冷家溪群小木平组斑脱岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄($822\text{Ma} \pm 10\text{Ma}$)和上覆板溪群张家湾组斑脱岩锆石 U-Pb 年龄($802.6\text{Ma} \pm 7.6\text{Ma}$), 结合“江南造山带”东部变质基底双桥山群和西南地区四堡群、下江群的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄, 将冷家溪群与其相应的江南古陆变质地层明确定位于新元古界。该年龄对重新界定“武陵运动”的时限和进行同期地层的区域对比、构造演化研究都有重要意义。冷家溪群与双桥山群、梵净山群、四堡群、双溪坞群一样, 均为低变质绿片岩系, 构成了江南古陆地区的变质基底。多年来冷家溪群一直划归中元古界, 并且视为“武陵运动”的主体, 其时代的定位将影响整个江南古陆变质基底的地层划分和对比, 也将制约江南造山带的地质背景和成矿条件解疑。上述锆石 U-Pb 年龄不仅标示了湘东地区新元古代地层的时代, 也为江南古陆中部变质基底提供了新的、精确的年代学数据。

关键词: 冷家溪群; 斑脱岩; 锆石 SHRIMP U-Pb 定年; “江南造山带”; 湘东北地区

中图分类号: P534.3; P597+.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2011)07-1001-08

Gao L Z, Chen J, Ding X Z, Liu Y R, Zhang C H, Zhang H, Liu Y X, Pang W H, Zhang Y H. Zircon SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed of Lengjiaxi and Banxi groups, northeastern Hunan: constraints on the Wuling Movement. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(7):1001-1008

Abstract: Zircon dating of the tuff bed in Lengjiaxi Group of Hunan Province was conducted in this study. In combination with the

收稿日期: 2011-03-20; 修订日期: 2011-05-11

资助项目: 中国地质调查局地调项目《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)

作者简介: 高林志, 男, (1955-), 研究员, 从事生物地层、层序地层、灾变事件地层研究。E-mail: gaolzh@cags.net.cn

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

SHRIMP U-Pb dating of the tuff bed in Sibao and Shuangqiaoshan groups, the Lengjiaxi Group is considered to be Neoproterozoic in age. The isotopic data obtained are very important in redefining the age of the Lengjiaxi Group and in regional correlation of strata of the corresponding period as well as the study of tectonic evolution. Rocks of the Lengjiaxi Group (as well as the Fanjingshan, Sibao and Shuangqiaoshan groups) comprising epimetamorphic rocks are well developed in the Jiangnan Orogen and have formed the metamorphosed basement of the Jiangnan old land. The Lengjiaxi Group was formerly assigned to Mesoproterozoic and was regarded as the main part of the Wuling Movement. Such dating has adversely affected the stratigraphic subdivision and correlation of the metamorphosed rocks in the whole Jiangnan old land and restricted geologists in their study of geological background and ore-forming conditions of the Jiangnan Orogen. During the study of bentonite in the Lengjiaxi Group, the authors accurately dated the zircon at the top of the group at 822 ± 10 Ma and that in the Zhangjiawan Formation of the Banxi Group at 802.6 ± 7.6 Ma. These data have resolved the problem of the Neoproterozoic age and, what is more, provided a new marker for the Jiangnan Orogen.

Key words: Lengjiaxi Group; bentonite; zircon SHRIMP U-Pb dating; “Jiangnan Orogen”; northeastern Hunan Province

扬子陆块和华夏陆块之间有一明显呈带状分布的元古宙浅变质的沉积地层和一系列岩浆岩，被称为“江南古陆”(图 1)。有些学者根据江南古陆变质基底中发育的 S 型花岗岩和超镁铁辉长橄榄岩侵位的年代信息，认为扬子与华夏板块于中元古代末碰撞、拼贴而形成江南造山带^[1-5]。但是，上述中元古代末碰撞观点受到不断获得的新年龄数据的挑战。近年来，有学者通过 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 获得的

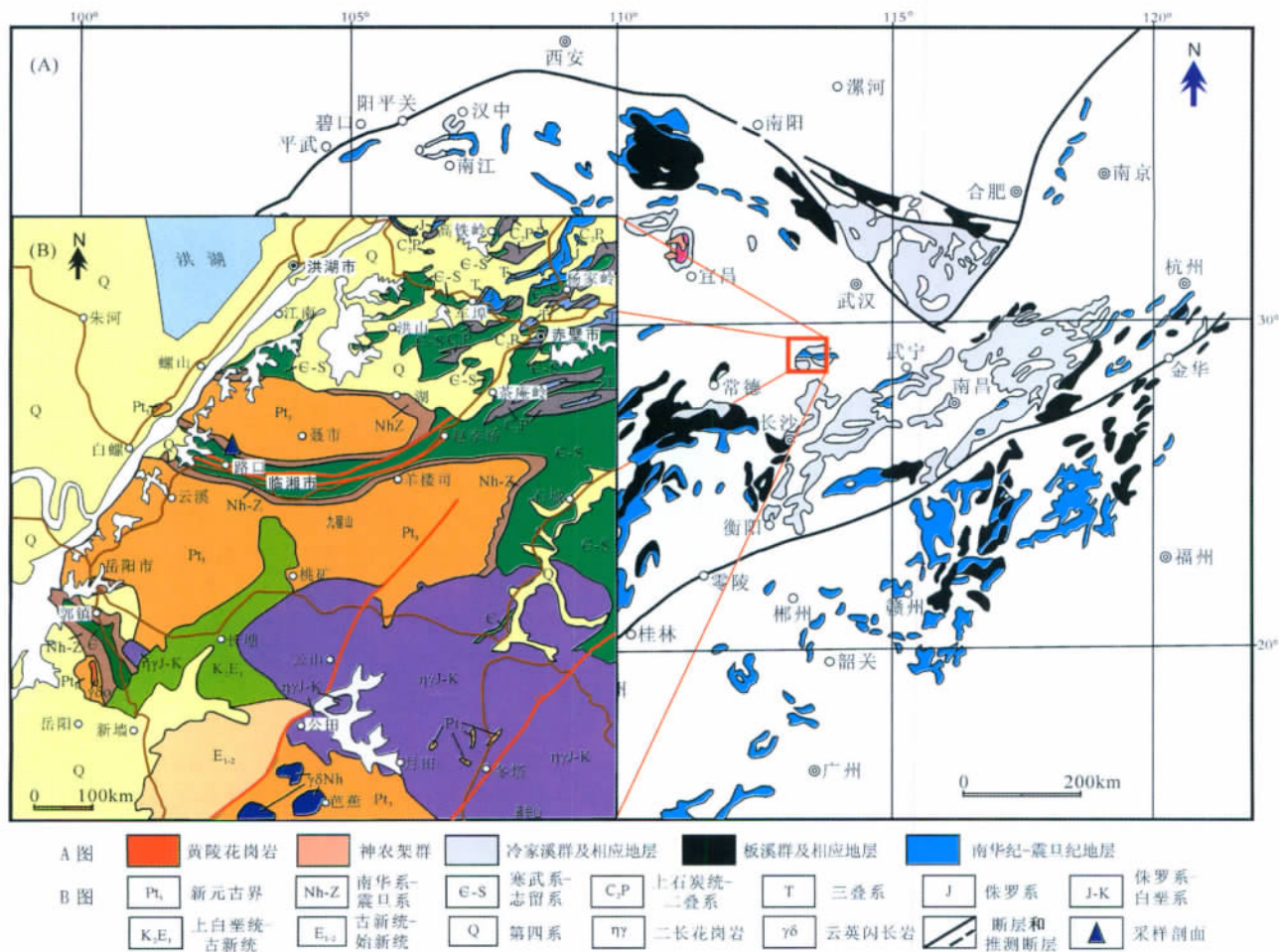


图 1 扬子地台新元古代地层分布和湘东北地区冷家溪群、板溪群采样层位

Fig. 1 Distribution of Neoproterozoic strata and sequences in Yangtze Plate and sampling horizons of Lengjiaxi Group and Banxi Group in northeastern Hunan

原位微区锆石 U-Pb 定年数据,不断地质疑江南古陆变质基底为中元古代地层的问题^[6-9]。有学者依据“武陵运动”所代表的高角度不整合接触关系,认为江南造山带应是格林威尔造山带在中国陆块的响应^[10-12],但关于其构造性质、特征、形态、时间等问题争论极大^[13-21]。近年来,随着不断获得的凝灰岩(斑脱岩)SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄的报道,基本明确了与“武陵运动”相当的“四堡运动”和“雪峰运动”仅是形成于新元古界内部的造山运动,它们广泛发育在贵州梵净山北和湖南大庸、岳阳、平江地区,是“武陵运动”的构造高位区;接触关系从高角度不整合、低角度不整合至平行不整合;不整合面之上地层的变形、变质程度也逐渐减弱^[22];反映出“武陵运动”代表扬子古陆与华夏古陆的汇聚碰撞和新元古代末期洋陆转换的历程。最先撼动上述观点的是江南造山带东段的双桥山群横涌组 and 安乐林组中斑脱岩中获得的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄($831\text{Ma} \pm 6\text{Ma} \sim 829\text{Ma} \pm 6\text{Ma}$ ^[23]),随后在桂黔交界的四堡群斑脱岩中获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄($841.7 \pm 5.9\text{Ma}$ ^[24]),并在四堡群(梵净山群)上覆地层下江群甲路组中斑脱岩测得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄($814.0 \pm 6.3\text{Ma}$ ^[25])和侵入四堡群又被下江群覆盖的摩天岭花岗岩中获得 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄($826.8 \pm 5.9\text{Ma}$ ^[24]),由此“四堡运动”基本限定在 827~814Ma 之间。本文所报道的最新获得的冷家溪群小木平组斑脱岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(822Ma)和板溪群张家湾组斑脱岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(802Ma),将“武陵运动”限定为 20Ma 中的构造事件,笔者认为与格林威尔造山带启动时间和形式截然不同。新的数据为“江南造山带”变质基底地层和中国新的地质年代代表的修正再添新的证据,同时起到重新思考“武陵运动”的构造意义的作用。本文首次将武陵运动的时限在一条剖面上界定为 822~802Ma 之间的一次构造运动(图 2 下图),并且认为该运动与格林威尔造山带体系无关。

中国地质学家注意到,在整个江南造山带沿着扬子陆块的南缘或东缘发育的一些岩浆岩都意味着 820Ma 与下伏地层之间有着地球动力和构造的转换,似乎在南华系(雪球事件)之前形成了一套似盖层过渡层沉积。因此,对它们之间沉积关系的解疑,特别对下伏地层冷家溪群的同位素年龄测定,将有利于重塑整个江南造山带的地质背景、成矿条件和

解决整个江南造山带的地质划分。本文将提供湘东北岳阳地区冷家溪群凝灰岩(斑脱岩)和板溪群的锆石 U-Pb 定年结果,对于该地区地层的定位及其与周边地层的对比尤为重要。

1 地层序列和采样层位

湘东地区发育了较完整的新元古代地层(冷家溪群、板溪群、南华系和震旦系),突出的特点是南华系盖层之下板溪群(张家湾组、老山崖组、马底驿组)砂砾岩沉积超覆在冷家溪群不同层位(复理石浊积岩)之上。冷家溪群最早为王晓青等^[26]在湖南安化县洞底-桃源冷家溪野外路线剖面上命名的。湖南省地矿局 413 地质队厘定了冷家溪群的含义^[27],为一套灰、灰绿色绢云母泥板岩、条带状板岩、粉砂质板岩、岩屑杂砂岩、凝灰质细碎屑岩,局部夹火山岩,总厚 6700~10127m。即将武陵运动不整合面之下的一套浅变质砂泥质地层定为冷家溪群,分为 5 个岩性段,后来分别建组,自下至上为雷神庙组、南桥组、黄浒洞组、小木坪组、大药姑组^[28]。

本文年龄样主要来自临湘市陆城剖面(图 2 下图)。样品 T091223-2(板溪群张家湾组)采样坐标:29°34.816'N、113°17.319'E,样品 T091223-3(冷家溪群小木平组)采样坐标:29°34.912'N、113°17.445'E。本文所采集的斑脱岩(锆石年龄)样品(图 3),对冷家溪群、板溪群和武陵运动的限定有着重要的年代学意义。

2 分析方法

锆石 U-Pb 年龄测定在澳大利亚科学仪器公司(Australia Scientific Instrumnets: www.asi-pl.com)(堪培拉)的 SHRIMP- 上进行,详细的分析流程见参考文献[29-30]。年龄测定时仪器质量分辨率约为 5000(1%峰高),一次离子流 O_2^- 强度为 4nA。一次离子流束斑直径为 45 μm 左右,每个数据点测定由 5 次扫描构成。测定质量峰为 $^{90}\text{Zr}_2^{16}\text{O}^+$ 、 $^{204}\text{Pb}^+$,背景值为 $^{206}\text{Pb}^+$ 、 $^{207}\text{Pb}^+$ 、 $^{208}\text{Pb}^+$ 、 $^{238}\text{U}^+$ 、 $(^{232}\text{Th}^{16}\text{O})^+$ 和 $(^{238}\text{U}^{16}\text{O})^+$ 。分别采用标准锆石 TEM 和 SL13 进行元素间的分馏校正和 U 含量标定。其中 TEM 具有 U-Pb 谐和年龄,其 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $416.8\text{Ma} \pm 1.1\text{Ma}$,但 U、Th 和 Pb 含量不均一;SL13 的年龄为 572Ma, ^{238}U 含量为 238×10^{-6} ^[31]。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

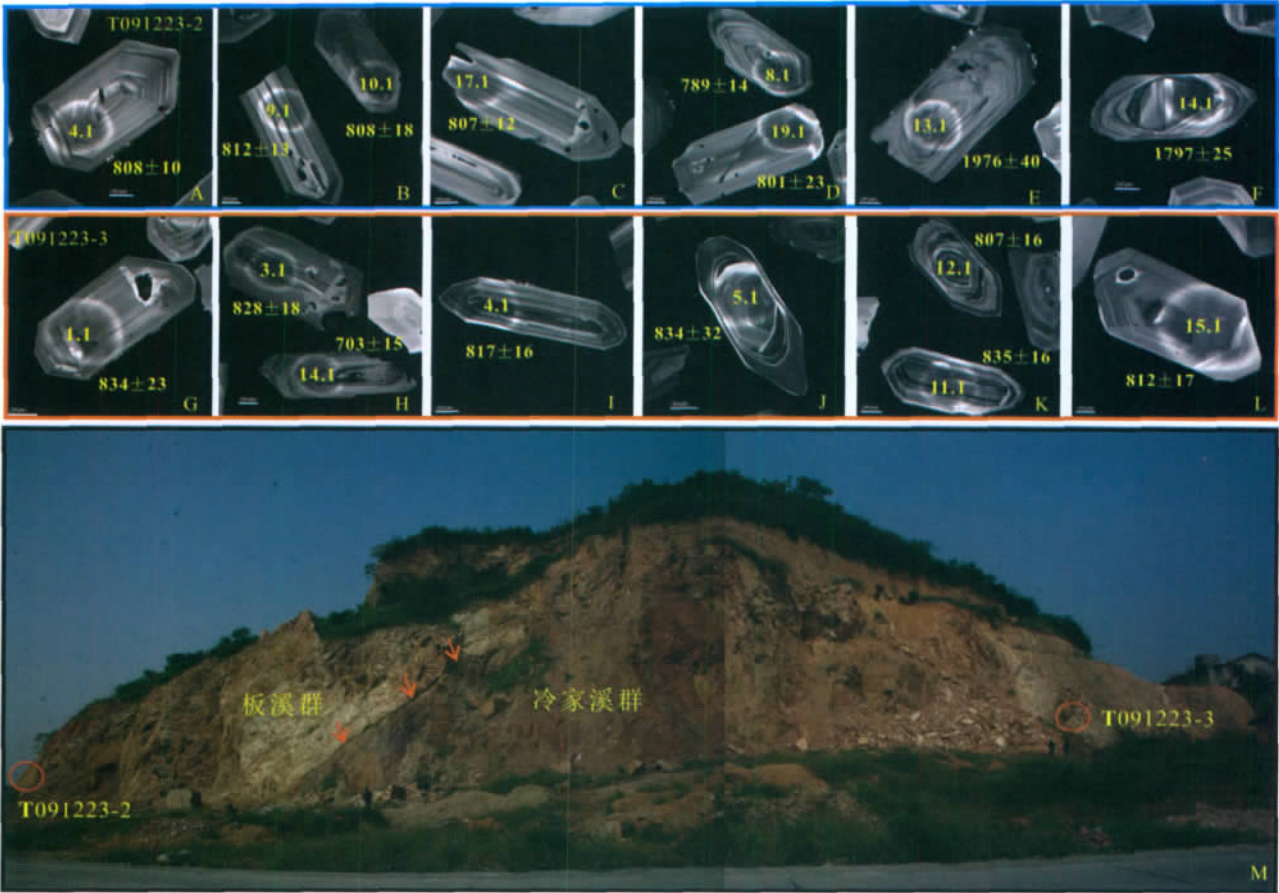


图 2 冷家溪群和板溪群同位素采样点及锆石特征

Fig. 2 Sampling points in Lengjiaxi Group and zircon features of the samples

锆石 CL 图像第一排 A~F:板溪群张家湾组(T091223-2),第二排 G~L:冷家溪群小木平组(T091223-3),
比例棒代表长度 20 μm ,年龄单位 Ma;下边野外照片 M:红圈为采样点和样号,红色箭头所指部位为高角度不整合面

程序^[32-33]。普通 Pb 校正根据 Stacey 等^[34]给出的模式计算得到。在数据表中,年龄的误差为 1 σ 绝对误差,同位素比值的误差为 1 σ 相对误差;文中所使用的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 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

锆石的阴极发光图像(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 2)。根据可见光图像选择无或者少量包裹体的部位,尽可能离开裂纹部位;根据阴极发光图像选择测定点,避免一次离子流的入射位置跨不同世代的晶体区域。T091223-2(板溪群张家湾组)样品的锆石晶型

完好,为浅黄色—无色透明钝圆形晶体;T091223-3(冷家溪群小木平组)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 含量和 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板溪群张家湾组样品(T091223-2) 20 个测点中 U 含量变化范围为 $38\times 10^{-6}\sim 311\times 10^{-6}$; Th 含量变化范围为 $57\times 10^{-6}\sim 558\times 10^{-6}$;Th/U 值变化范围为 0.50~2.76。②冷家溪群小木平组的斑脱岩样品(T091223-3)16 个测点中 U 含量变化范围为 $113\times 10^{-6}\sim 842\times 10^{-6}$; Th 含量变化范围为 $43\times 10^{-6}\sim 842\times 10^{-6}$;Th/U 值变化范围为 0.31~1.11(表 1)。上述这些分析点均位于明显的岩浆环带部位。

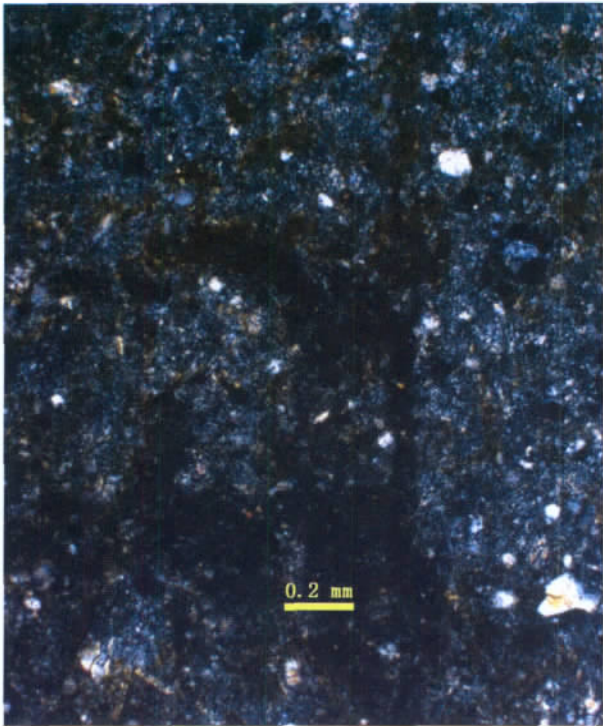
表 1 冷家溪群样品(T091123-2)和板溪群样品(T091123-3)SHRIMP 锆石 U-Th-Pb 年龄测定结果

Table 1 SHRIMP U-Th-Pb age determinations of zircons
from Lengjiaxi Group (T091123-2) and Banxi Group(T091123-3)

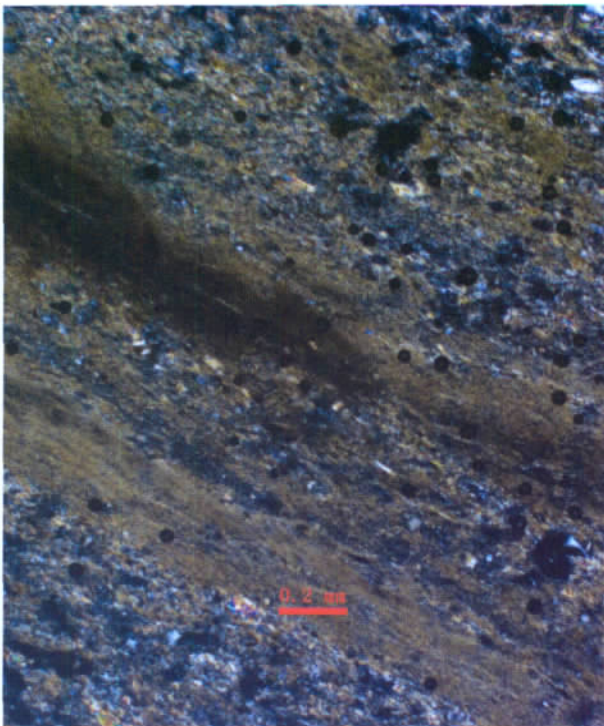
测 点	²⁰⁶ Pb _c /%	U /10 ⁻⁶	Th /10 ⁻⁶	²³² Th / ²³⁸ U	²⁰⁶ Pb* /10 ⁻⁶	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U 年龄/Ma	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb 年龄/Ma	不谐和 度/%	²⁰⁷ Pb*/ ²⁰⁶ Pb* (±%)	²⁰⁷ Pb*/ ²³⁵ U (±%)	²⁰⁶ Pb*/ ²³⁸ U (±%)	绝对 误差
T091223-2												
23-2-1.1	0.41	38	57	1.55	4.11	764±17	970±120	21	7.95±2.3	0.0714±6.1	0.1257±2.3	0.354
23-2-2.1	0.37	196	135	0.71	21.8	783±11	766±59	-2	7.75±1.5	0.0647±2.8	0.1291±1.5	0.467
23-2-3.1	0.18	427	558	1.35	43.8	725.7±4.6	760±30	4	8.393±0.67	0.06455±1.4	0.11915±0.67	0.421
23-2-4.1	0.48	113	104	0.95	13.1	808.4±9.9	764±71	-6	7.485±1.3	0.0647±3.3	0.1336±1.3	0.363
23-2-5.1	0.59	53	119	2.31	5.75	758±17	601±120	-26	8.01±2.3	0.0599±5.5	0.1248±2.3	0.390
23-2-6.1	0.32	131	105	0.83	16.1	858±11	795±67	-8	7.021±1.3	0.0656±3.2	0.1424±1.3	0.383
23-2-7.1	0.71	122	149	1.26	14.2	813±14	548±110	-48	7.44±1.9	0.0585±4.9	0.1344±1.9	0.358
23-2-8.1	1.39	74	133	1.86	8.41	789±14	507±190	-56	7.68±1.9	0.0574±8.8	0.1303±1.9	0.208
23-2-9.1	1.42	41	109	2.76	4.84	825±36	869±170	5	7.33±4.7	0.0680±8.4	0.1364±4.7	0.486
23-2-10.1	0.81	230	269	1.21	26.8	812±13	587± 97	-38	7.45±1.7	0.0595±4.5	0.1343±1.7	0.359
23-2-11.1	0.94	87	112	1.33	10.1	808±18	586±120	-38	7.49±2.4	0.0595±5.5	0.1336±2.4	0.399
23-2-12.1	0.43	125	146	1.20	14.1	788±11	741± 94	-6	7.69±1.4	0.0640±4.4	0.1301±1.4	0.308
23-2-13.1	0.73	90	118	1.34	30.8	2142±30	1976±40	-8	2.537±1.6	0.1213±2.2	0.3942±1.6	0.586
23-2-14.1	0.14	311	150	0.50	76.8	1628±24	1797±25	9	3.480±1.7	0.1098±1.4	0.2873±1.7	0.770
23-2-15.1	0.45	301	352	1.21	32.4	757.2±6.7	679±63	-11	8.023±0.94	0.0621±2.9	0.1246±0.94	0.303
23-2-16.1	1.21	126	123	1.01	14.9	823±12	616±180	-34	7.34±1.5	0.0604±8.5	0.1362±1.5	0.175
23-2-17.1	0.71	109	180	1.70	12.6	807±12	658±120	-23	7.50±1.6	0.0615±5.8	0.1334±1.6	0.266
23-2-18.1	1.23	74	77	1.07	8.04	759±15	744±170	-2	8.00±2.1	0.0641±7.9	0.1250±2.1	0.256
23-2-19.1	1.45	96	112	1.21	11.0	801±23	597±180	-34	7.56±3.0	0.0598±8.1	0.1323±3.0	0.348
23-2-20.1	1.01	55	64	1.19	6.35	799±16	1000±130	20	7.58±2.1	0.0725±6.2	0.1319±2.1	0.317
T091223-3												
23-3-1-1	0.31	283	282	1.03	33.7	834±23	846±65	1	7.24±2.9	0.0673±3.1	0.1381±2.9	0.684
23-3-2-1	0.31	212	151	0.74	26.2	862±18	417±270	-107	6.99±2.3	0.0551±12	0.1432±2.3	0.185
23-3-3-1	0.38	225	205	0.94	26.6	828±18	864±85	4	7.29±2.3	0.0678±4.1	0.1371±2.3	0.486
23-3-4.1	0.09	424	311	0.76	49.2	817±16	759±38	-8	7.40±2.1	0.0645±1.8	0.1351±2.1	0.748
23-3-5.1	0.80	113	43	0.39	13.5	834±32	623±91	-34	7.24±4.0	0.0606±4.2	0.1381±4.0	0.689
23-3-6.1	0.29	140	72	0.53	17.1	852±19	787±77	-8	7.08±2.3	0.0654±3.6	0.1412±2.3	0.538
23-3-7.1	0.28	357	264	0.77	40.8	803±16	762±41	-5	7.54±2.1	0.0646±1.9	0.1327±2.1	0.734
23-3-8.1	0.06	842	654	0.80	79.6	673±14	1106±24	39	9.09±2.1	0.07643±1.2	0.1100±2.1	0.871
23-3-9.1	0.55	164	98	0.62	20.1	855±18	684±91	-25	7.05±2.3	0.0623±4.3	0.1418±2.3	0.474
23-3-10.1	0.07	827	1241	1.55	61.2	532±11	1141±34	53	11.62±2.3	0.0778±1.7	0.0860±2.3	0.796
23-3-11.1	0.12	341	154	0.47	40.5	835±16	836±35	0	7.23±2.1	0.0669±1.7	0.1383±2.1	0.777
23-3-12.1	0.32	297	319	1.11	34.1	807±16	802±56	-1	7.50±2.1	0.0659±2.7	0.1334±2.1	0.620
23-3-13.1	0.00	178	87	0.51	24.0	941±20	960±43	2	6.36±2.2	0.0711±2.1	0.1572±2.2	0.731
23-3-14.1	0.00	269	81	0.31	26.7	703±15	813±44	14	8.68±2.2	0.0662±2.1	0.1152±2.2	0.723
23-3-15.1	0.12	188	105	0.57	21.7	812±17	862±70	6	7.45±2.3	0.0678±3.4	0.1342±2.3	0.555
23-3-16.1	0.15	447	230	0.53	51.0	802±15	824±35	3	7.55±2.0	0.0665±1.7	0.1325±2.0	0.770

注: Pb_c 为普通 Pb 的 ²⁰⁶Pb 占全部 ²⁰⁶Pb 的百分比, Pb* 代表放射成因 Pb, 用于校正待测样品和与之同时测定的标准样品的误差为 0.43%(1σ), 普通 Pb 校正采用实测的 ²⁰⁴Pb

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>



样品 T091223-2 凝灰岩照片(正交偏光)



样品 T091223-3 玻屑照片(正交偏光)

图 3 样品 T091223-2 和 T091223-3 岩石薄片照片

Fig. 3 Lithological photos of ash bedding of T091223-2 and T091223-3

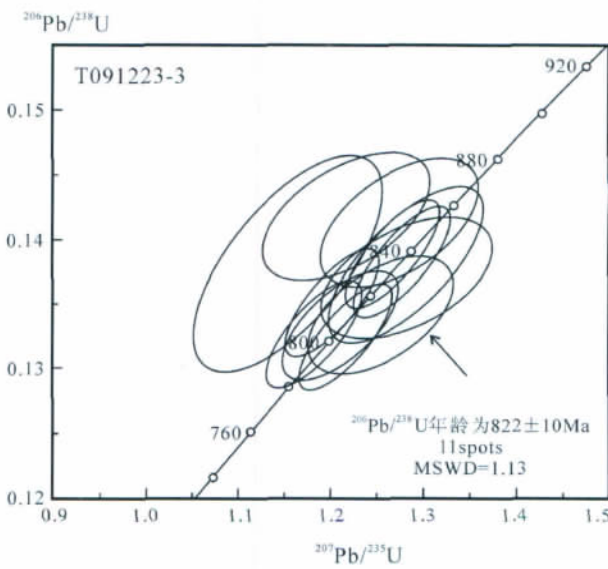
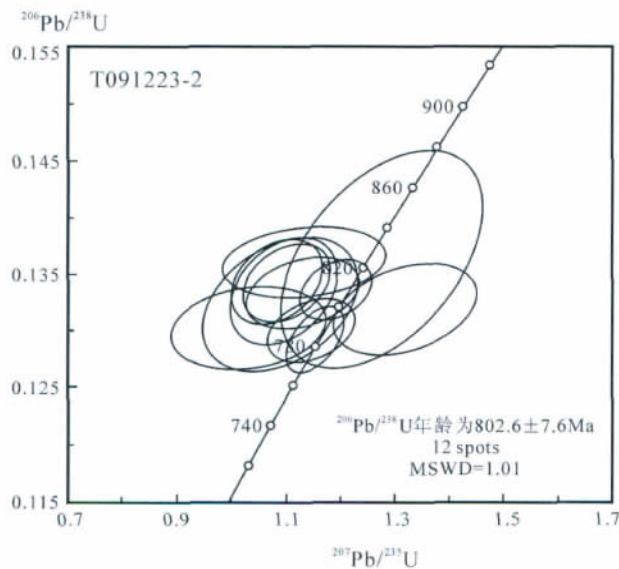


图 4 冷家溪群(右)和板溪群(左)凝灰岩锆石 U-Pb 谐和图

Fig. 4 Zircon U-Pb concordant diagrams of tuff bed in Lengjiaxi Group (right) and that in Banxi Group (left)

锆石 U-Pb 年龄：①板溪群张家湾组的样品 (T091223-2)共测试了 20 个数据点。其中 8 个数据点与主群不一致,数据点(13.1、14.1)为继承锆石数据(图 2);其余 12 个数据点均位于谐和线上或谐和

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. <http://www.cnki.net>

线附近(图 4-左图),12 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $802.6\text{Ma}\pm 7.6\text{Ma}$,对应的 $\text{MSWD}=1.13$ 。 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 平均加权年龄代表地层凝灰岩的形成时代。②冷家溪群小木平组的凝灰岩(斑脱岩)样品(T091223-3)共测试了 16 个数据点。其中 1 个数据点(13.1)为继承锆石数据,另有 4 个数据点受后期热事件的影响年龄偏小(表 1)。该样品的其余 11 个数据点均位于谐和线上或谐和线附近(图 4-右图)。11 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄为 $822\text{Ma}\pm 10\text{Ma}$,对应的 $\text{MSWD}=0.99$ 。最终 11 个数据点的 $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ 年龄加权平均值($822\text{Ma}\pm 10\text{Ma}$)代表冷家溪群小木平组凝灰岩的形成时代。

4 构造地层意义

冷家溪群小木平组凝灰岩锆石 U-Pb 平均加权年龄为 $822\text{Ma}\pm 10\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.01$),结合锆石的 CL 图像(图 2)和 Th/U 值(表 1)所显示的岩浆成因的特征,这一定年结果应代表冷家溪群同沉积火山喷发的凝灰岩的年龄。而板溪群张家湾组的斑脱岩锆石 U-Pb 平均加权年龄 $802.6\text{Ma}\pm 7.6\text{Ma}$ ($\text{MSWD}=1.13$)限定了冷家溪群沉积的上限,同时, $802.6\text{Ma}\pm 7.6\text{Ma}$ 锆石 U-Pb 年龄也限定了武陵运动的上限。上述 2 个组的锆石 U-Pb 年龄将为扬子古陆新元古代地层划分、对比和构造古地理格局的确定提供了更有力的同位素年代学证据。近年来,随着江南造山带的东部双桥山群凝灰岩不断发现的新元古代锆石 U-Pb 年龄,特别是根据双桥山群碎屑锆石 LA-ICP-MS U-Pb 年龄($<860\text{Ma}$)^[35]、双桥山群凝灰岩(斑脱岩)SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄($831\sim 829\text{Ma}$)^[23]和江南造山带西部四堡群斑脱岩 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(842Ma)^[24],将原定为中元古代的地层重新厘定为新元古界。与此同时,地质学家也开始怀疑江南古陆是否存在中元古代地层^[35-37],这种怀疑演变为对江南造山带与格林威尔造山带是否等同的质疑^[38-39]。本文报道的冷家溪群和板溪群斑脱岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄,不仅对整个江南古陆变质基底的时限做了新标定,而且也首次对武陵运动的时限做了新界定。它的年代学意义在于使人们重新思考沿着扬子陆块的南缘或东缘发育的一系列岩浆事件在地层中的构造作用。它们是构造运动的结束,还是新起点呢?因为对于扬子块体与华夏块体来说, 820Ma 左右的“事件”意味着与下

伏地层之间有着重大的地球动力学和构造转换的地质问题^[40]。在南华纪之前形成了一套似盖层过渡层的沉积(板溪群、丹州群、下江群等),与下伏地层(冷家溪群、梵净山群、四堡群、双桥山群低变质绿片岩)的构造关系是解疑江南造山带的地质背景、成矿条件、地层划分等问题的关键^[41]。

5 结 论

(1)本文报道的冷家溪群小木平组 $822\text{Ma}\pm 10\text{Ma}$ 和板溪群张家湾组 $802.6\text{Ma}\pm 7.6\text{Ma}$ SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄均来自地层中凝灰岩(斑脱岩),该年龄应代表沉积地层的年龄。

(2)确定了江南造山带变质基底地层(梵净山群、四堡群、冷家溪群、双桥山群等)的时代为新元古代。

(3)本文通过地层中斑脱岩的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄限定的江南造山带广为发育的武陵运动,其时代不等同于格林威尔(Grenville)期造山带。

致谢:北京 SHRIMP 中心刘敦一研究员在测试期间给予技术保障,杨淳和周慧女士协助高清晰阴极发光照相;宋迎年女士帮助绘图;陆松年研究员在野外给予指导;王自强教授对本文提出了很好的修改建议;刘建辉和杨之清先生对数据进行处理和校对。在此一并表示感谢。

参考文献

- [1]Li Zhengxiang, Zhang L H, Powell C McA. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antacticle and Laurentia[J]. *Geology*, 1995, 23: 407-410.
- [2]Li Zhengxiang, Zhang L H, Powell C McA. Position of the East Asian cratons in the Neoproterozoic supercontinent Rodinia[J]. *Aust. J. Earth Sci.*, 1996, 43(6): 593-604.
- [3]Li Zhengxiang, Li Xianhua, 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[J]. *Precambrian Research*, 2003, 122(1/4): 85-109.
- [4]Li Zhengxiang, Bogdanova S V, Collins A S, et al. Assembly, configuration and break-up of history of Rodinia: a synthesis[J]. *Precambrian Research*, 2008, 160: 179-210.
- [5]Li Xianhua. U-Pb zircon ages of granites from the southern margin of the Yangtze margin: timing of Neoproterozoic Jinning Orogen in SE China and implication for Rodinia assemble[J]. *Precambrian Research*, 1999, 97:43-57.
- [6]Wang Xiaolei, Zhao Guochun, Qi Jianshen, et al. LA-ICPMS 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.

[7]Wang Xiaolei, Zhao guochun, Zhou Jincheng, et al. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group, southern China: Implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen[J]. Gondwana Research, 2008, 14: 355-367.

[8]Ye Meifang Li Xianhua, Li Wuxian, et al. SHRIMP zircon U-Pb geochronological and whole -rock geochemical evidence for an early Neoproterozoic Sibaoan magmatic arc along the southeastern margin of the Yangtze Block[J]. Gondwana Research, 2007, 12: 144-156.

[9]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.

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

[11]Wang Jiang, Li Zhengxiang. History of Neoproterozoic rift basins in South China: implication for rodinia breakup[J]. Precambrian Research, 2003, 122: 141-158.

[12]李献华, 王选策, 李武显, 等. 华南新元古代玄武岩岩石成因与构造意义: 从造山运动到陆内裂谷[J]. 地球化学, 2008, 37(4): 382-398.

[13]郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 江南元古代板块运动和岛弧构造的形成和演化[M]. 中国地质学会, 中国地质科学院. 国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集(1). 北京: 地质出版社, 1986: 30-37.

[14]郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化[M]. 26 届国际地质大会论文集(1). 北京: 地质出版社, 1980: 109-116.

[15]胡受奚, 叶瑛. 对“华夏古陆”、“华夏地块”及“扬子-华夏古陆统一体”等观点的质疑[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 432-439.

[16]徐备. 论赣东北-皖南晚元古代沟弧盆体系[J]. 地质学报, 1990, 64(1): 33-42.

[17]水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(D 辑), 1987, 4: 414-421.

[18]马瑞士. 华南构造演化新思考兼论“华夏古陆”说中的几个问题[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 448-456.

[19]沈渭洲. 华夏地块基底变质岩同位素年龄数据评述[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 475-482.

[20]王鹤年, 周丽娅. 华南地质构造的再认识[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 457-465.

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

[22]戴传固, 李硕, 张慧. 试论江南造山带西南段构造演化——以黔东南及邻区为例[J]. 贵州地质, 2005, 22(2): 98-102.

[23]高林志, 杨明桂, 丁孝忠, 等. 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, 2008, 27(10): 1744-1758.

[24]高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 黔东南—桂北地区四堡群凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义[J]. 地质通报, 2010, 29(9): 1259-1267.

[25]高林志, 戴传固, 刘燕学, 等. 下江群甲路组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地层意义[J]. 中国地质, 2010, 37(4): 1071-1082.

[26]王晓青, 刘祖彝. 湖南长常地区地质[M]. 长沙: 前湖南地质调查所乙种(1), 1936: 1-109.

[27]湖南省地质矿产局. 湖南省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1988: 6-30.

[28]唐晓珊, 黄建忠, 张晓阳, 等. 湖南新元古代板溪群: 地学专题研究[M]. 湖南省地质矿产区域地质调查所, 1995: 1-118.

[29]刘敦一, 简平, 张旗, 等. 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, 2003, 77(3): 317-327.

[30]Lance P B, Sandra L K, Charlotte M A, et al. TEMORA 1: a new zircon standard for Phanerozoic U-Pb geochronology [J]. Chemical Geology, 2003, 200: 155-170.

[31]Claoué-Long J C, Compston W, Roberts J, et al. Two carboniferous ages: a comparison of SHRIMP zircon dating with conventional zircon ages and 40Ar/39Ar analysis. In: Geochronology Time Scales and Global Stratigraphic Correlation [J]. SEPM Special Publication, 1995, 54: 3-21.

[32]Lance P B, Sandra L K, Ian S Williams, et al. The Application of SHRIMP to Phanerozoic geochronology; a critical appraisal of four zircon standards[J]. Chemical Geology, 2003, 200: 171-188.

[33]Ludwig K R. SQUID 1.02, a user's manual/Ex rev. 2.49[J]. Berkeley Geochronology Center Special Publication, 2001, (1): 56.

[34]Stacey J S, Kramers J D. Approximation of terrestrial lead isotope evolution by two-stage model[J]. Earth Planet. Sci. Lett., 1975, 26: 207-221.

[35]周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带是否是格林威尔期造山带? [J]. 高校地质学报, 2008, 14(1): 64-72.

[36]王丽娟, 于津海, O'Reilly S Y, 等. 华夏南部可能存在 Grenville 期造山作用: 来自基底变质岩中锆石 U-Pb 定年及 Lu-Hf 同位素信息[J]. 科学通报, 2008, 53(14): 1680-1692.

[37]Wang Lijuan, Griffin W L, Yu Jinhai, et al. Precambrian crustal evolution of the Yangtze Block tracked by detrital zircons from Neoproterozoic sedimentary rocks[J]. Precambrian Research, 2010, 177: 131-144.

[38]薛怀民, 马芳, 宋永勤, 等. 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, 2010, 26(11): 3215-3244.

[39]于津海, 魏震海, 王丽娟, 等. 华夏地块: 一个由古老物质组成的年轻陆块[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 440-447.

[40]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): 1014-1020.

[41]王鸿祯, 乔秀夫. 中国元古代构造单元及其边界性质[C]. 中国地质学会, 中国地质科学院. 国际前寒武纪地壳演化讨论会论文集(3). 北京: 地质出版社, 1986: 1-13.