

文章编号: 1009-3850(2011)03-0078-10

雪峰造山带新元古代构造演化框架

柏道远¹, 贾宝华², 钟响¹, 贾朋远¹, 刘耀荣¹, 马铁球¹

(1. 湖南省地质调查院, 湖南 长沙 410011; 2. 湖南省地质矿产勘查开发局, 湖南 长沙 410011)

摘要: 目前对江南造山带新元古代构造演化存在不同认识。本文在系统收集近年来大量高精度年龄数据及岩石地球化学研究成果基础上, 重塑了雪峰造山带(江南造山带西段)及其东南缘新元古代构造演化过程: 880~820Ma 期间雪峰造山带为岛弧岩浆作用阶段, 东南缘城步地区为弧前盆地; 820~810Ma 期间雪峰造山带为弧-陆(主)碰撞阶段, 城步地区处于弧前盆地向岛弧发展的过渡时期; 810~800Ma 期间雪峰造山带进入后碰撞环境, 城步地区形成新的岛弧; 800~630Ma 整体进入裂谷盆地阶段。上述过程反映出扬子陆块东南缘的岛弧增生过程, 同时暗示雪峰造山带南东面的雪峰期和南华纪沉积叠覆于华南残留洋盆之上。

关键词: 雪峰造山带; 构造演化; 新元古代; 湖南

中图分类号: P534.3

文献标识码: A

“江南造山带”^[1]为扬子陆块东南缘的前南华纪基底出露带, 亦称“江南古陆”^[2]或“江南地轴”^[3]。对于江南造山带的大地构造性质, 一种普遍的观点视其为中-新元古代华南洋向扬子陆块俯冲形成的“岛弧褶皱带”或“多岛弧盆系”^[4-12]; 另有印支-燕山运动中大陆岩石圈内部拆离、向西逆冲形成的推覆体^[13]、陆内裂陷背景上由于裂谷关闭时陆块拼贴碰撞和陆内俯冲所产生的陆内造山带^[14, 15]、过渡型的基底拆离式构造^[16-18]等多种看法。此外, 有研究者认为雪峰(江南)造山带为印支期阿尔卑斯式远程推覆体, 造山带南东面存在印支期大洋^[19-24]。不过该观点已为近年的沉积学、岩石学和岩石化学以及构造变形特征等研究所否定^[14-18, 25-29]。近年来, 在大量高精度锆石测年成果支持下, 江南造山带新元古代地质背景和构造演化研究水平有了很大提高^[30-36], 但对动力学背景的认识仍有较大分歧。李献华等^[36]提出了1.0Ga至760Ma期间华南从(俯冲)造山运动到陆内裂谷的地球动力学演化模型, 特别强调地幔柱作用在约

825Ma至760Ma期间对区域构造演化的控制。周金城等^[33]构建了江南造山带自866Ma前至760Ma左右期间由俯冲(岛弧)→碰撞→后造山伸展的构造演化框架, 其明确否定在此过程中有地幔柱作用。不同研究者通过火成岩特征、成因及其构造环境研究分别对“地幔柱”观点^[36-47]和“非地幔柱”观点^[68-57]进行了论证。以上表明, 江南造山带构造属性及演化尚待进一步深入研究。

雪峰造山带位于江南造山带西段, 对其地质特征的认识不仅直接关系到江南造山带, 也关系到因后期盆地叠加和沉积物掩盖而颇具争议的软杭结合带南西段构造性质与走向问题的研究。本文在系统收集近年来大量高精度年龄数据及岩石地球化学研究成果基础上, 结合笔者近年来在湖南新获得的年代学资料, 尝试重塑雪峰造山带新元古代构造演化过程, 以期促进江南造山带地质研究。

1 地质概况

雪峰造山带为一向北西凸出的弧形构造带, 西

收稿日期: 2010-11-29; 改回日期: 2011-02-18

作者简介: 柏道远(1967-) 研究员级高级工程师, 长期从事区域地质调查与基础地质研究。E-mail: daoyuanbai@sina.com

资助项目: 中国地质调查局“湖南1:25万武冈市和永州市幅区调修测”项目、“中国地质构造区划综合研究与区域地质志修编”项目(1212010811032) 联合资助

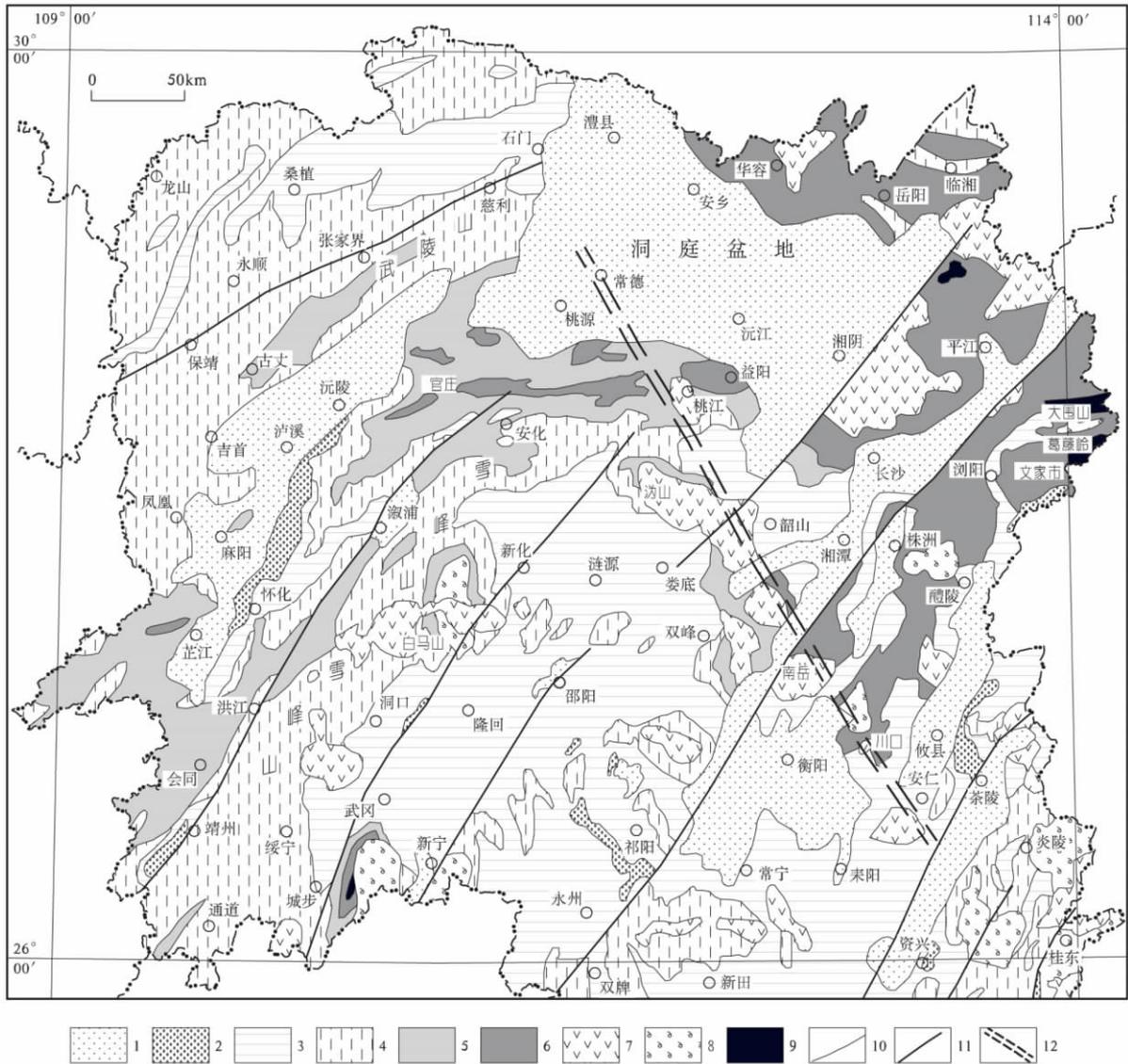


图1 区域地质略图

1. 白垩系-第四系; 2. 上三叠统-侏罗系; 3. 泥盆系-中三叠统; 4. 南华系-志留系; 5. 新元古代板溪群; 6. 新元古代冷家溪群; 7. 中生代花岗岩; 8. 加里东期花岗岩; 9. 新元古代花岗岩; 10. 地质界线; 11. 主要断裂; 12. 北西向调整断裂

Fig. 1 Simplified geological map of the Xuefeng orogenic zone

1 = Cretaceous-Quaternary; 2 = Upper Triassic-Jurassic; 3 = Devonian-Middle Triassic; 4 = Nanhuan-Silurian; 5 = Neoproterozoic Banxi Group; 6 = Neoproterozoic Lengjiayi Group; 7 = Mesozoic granite; 8 = Caledonian granite; 9 = Neoproterozoic granite; 10 = geological boundary; 11 = major fault; 12 = NW-trending fault

段呈 NE-NEE 向,东段呈 EW 向。其北(西)边界为保靖-慈利-临湘断裂(即江南断裂),南西边界一般意见为城步-新化-沅山-川口-文家市。雪峰造山带经历了武陵、雪峰、加里东、印支、燕山和喜山等多阶段构造演化过程,形成了复杂的地层、岩浆岩、地质构造及矿产发育面貌。其中武陵运动、加里东运动、印支一早燕山运动等多次挤压构造事件塑造了该带之“造山带”构造面貌;晚中生代陆内断陷形成的沅麻盆地和洞庭盆地叠覆在雪峰造山带之上(图1)。

带内最老地层为元古代冷家溪群,往上依次有板溪群、南华系-下古生界、上古生界-中三叠统、上三叠统-侏罗系、白垩系-古近系以及第四系。其中冷家溪群为碎屑岩夹火山岩建造,主要分布于湘东北-湘东地区以及中北部的官庄-益阳一带,芷江和城步地区有小块出露;新元古代板溪群广泛分布于雪峰造山带,总体为一套砂、泥质夹火山建造,沉积环境自北西向东南由滨海逐渐过渡为边缘海盆地;南华系-奥陶系分布广泛,仅平江-醴陵隆起区无发育,为碎屑和碳酸盐夹少量硅质沉积,总体上

自北西往南东沉积水体逐渐加深^[58]。

带内花岗岩分布于华容-安化-通道一线以东地区,形成时代主要有新元古代(武陵期)、志留纪(加里东期)、三叠纪(印支期)、侏罗纪(早燕山期)和白垩纪(晚燕山期)等(图1)。其中新元古代花岗岩分布极为局限,仅见于湘东北张邦源、渭洞、张坊、葛藤岭以及湘西南城步等地,岩体面积很小。

2 雪峰造山带新元古代构造演化过程

最近对位于雪峰造山带东缘的湖南城步地区新元古代变质火山岩与花岗岩进行的年代学和地球化学研究表明,由于受陆缘增生过程控制,造山

带主体与其东缘的构造演化并不同步^[59]。鉴此,本节首先分别阐述江南造山带和雪峰造山带东缘的沉积与岩浆事件年代,然后探讨雪峰造山带及其东缘新元古代构造演化过程。

2.1 江南造山带新元古代沉积、岩浆事件年代学

受不同时代、不同类型地质体出露情况等客观地质条件以及地质研究程度的限制,雪峰造山带新元古代构造演化研究所能依托的年代学和其它地质资料有限。鉴于雪峰造山带为江南造山带的重要组成部分,本文尽可能全面利用江南造山带的有关成果资料,以为雪峰造山带构造演化提供更充分的约束。

表1 江南造山带新元古代有关沉积、岩浆事件的年龄数据

Table 1 Age determinations of the Neoproterozoic depositional and magmatic events in the Jiangnan orogenic zone

取样地点和对象	分析方法	年龄值(Ma)	层位或产状	资料来源
基性-超基性岩				
湘西黔阳,板溪群中辉绿岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	747 ± 18	顺层侵入板溪群,被震旦系覆盖	[48]
湘西通道,板溪群中超基性岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	756 ± 12	侵入板溪群	[48]
湘西通道,板溪群中超镁铁质岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	772 ± 11	侵入板溪群	[48]
湘西古丈,板溪群中辉绿岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	768 ± 28	侵入板溪群,被震旦系覆盖	[37]
桂北龙胜,丹洲群中辉长辉绿岩	TIMS 稀释法	761 ± 8	似层状产于丹洲群	[60]
桂北何家湾,四堡群中辉绿岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	811.5 ± 4.8	四堡群中的层状辉绿岩	[49]
桂北杨梅坳,镁铁-超镁铁岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	828 ± 7	侵入于四堡群,被丹洲群覆盖	[39]
黔东南,梵净山群玄武岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	822 ± 15	梵净山群	[51]
火山-沉积建造				
湖北黄陵背斜西,凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	628.3 ± 5.8	陡山沱组底部	[61]
江西上饶,火山灰	稀释法下交点	635.3 ± 5.4	南沱组顶部	[62]
湖南古丈,火山灰	SHRIMP 锆石 U-Pb	636.3 ± 4.9	南沱组顶部	[63]
贵州松桃,凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	667.3 ± 9.9	大塘坡组	[61]
贵州松桃,凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	662.9 ± 4.3	大塘坡组	[64]
湖南芷江,板溪群	SHRIMP 锆石 U-Pb	725 ± 10	牛牯坪组(距该组顶部约300m)	[38]
湖南杨家坪,凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	758 ± 23	溇水河组上部	[65]
桂北三门街,流纹英安岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	765 ± 14	呈夹层产于丹洲群	[37]
皖南井潭组,英安岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	773 ± 7	新元古代地层	[66]
湖南杨家坪,板溪群沉凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	790 ± 15	多益塘组(距顶界面3m)	(1)
湖南浮萍山,板溪群沉凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	792 ± 12	多益塘组顶部(距顶界面20m)	(1)
浙北虹赤村组,中酸性火山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	797 ± 11	新元古代地层	[40]
湖南杨家坪,老山崖组凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	809 ± 16	张家湾组(距顶12m)	[65]
湖南古丈,板溪群火山灰	SHRIMP 锆石 U-Pb	809 ± 8.4	五强溪组(距该组底部92m)	[67]
皖南井潭组,英安岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	820 ± 16	新元古代地层	[66]
湘北沧水铺,英安质火山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	814 ± 12	板溪群底部	[68]
湖南益阳,冷家溪群中安山岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	823 ± 6	科马提岩演化岩石	[41]
湖南城步,冷家溪群火山碎屑岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	828 ± 10	冷家溪群顶部云场里组	[59]
湖南杨家坪,冷家溪群沉凝灰岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	845 ± 12	小木坪组顶部(距顶界面21m)	(1)
湘东北南桥,砂质泥岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	862 ± 11	冷家溪群	[69]
桂北,片岩-砂岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	867.7 ± 3.9	四堡群	[69]
黔东南,砂岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	872 ± 3	梵净山群	[51]

赣东北 石英角斑岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	878 ± 4 879 ± 5	双桥山群	[52]
新元古代花岗岩				
浙西石耳山 花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	779 ± 11	侵入井潭组	[40]
浙西石耳山 花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	777 ± 9	侵入井潭组	[70]
桂北田朋 花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	794.2 ± 8.1	侵入于寨滚岩体	[49, 50]
桂北三防 黑云母花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	804.3 ± 5.2	侵入于本洞岩体	[49, 50]
湘西南城步 二长花岗岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	806 ± 9	侵入于冷家溪群	[59]
湘东张坊 花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	817 ± 7	侵入于冷家溪群	(2)
云南峨山 花岗岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	818 ± 10		[42]
桂北本洞 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	819 ± 9	侵入于四堡群 被丹洲群覆盖	[71]
桂北本洞 花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	822.7 ± 3.8	被三防岩体侵入	[49, 50]
桂北峒马 花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	824 ± 13	侵入四堡群	[49, 50]
湘北张邦源 花岗岩闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	816 ± 4.6	侵位于冷家溪群	[53]
湘东葛藤岭 花岗岩闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	833 ± 8	侵位于冷家溪群	(2)
赣西北九岭 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	819 ± 9	侵入九岭群 被下震旦统覆盖	[43]
赣西北九岭 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	818 ± 10	侵入于双桥山群	[42]
赣西北九岭 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	820 ± 10	侵入于双桥山群	[72]
赣西北九岭 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	828 ± 8 820 ± 10	侵入九岭群 被下震旦统覆盖	[43]
皖南许村 花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	823 ± 17 ~ 827 ± 7	侵入上溪组被休宁组覆盖	[73]
皖南许村 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	823 ± 8	侵入上溪组被休宁组覆盖	[43]
皖南许村 花岗闪长岩	SHRIMP 锆石 U-Pb	829 ± 11	侵入上溪组	[42]
皖南歙县 花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	823 ± 9 ~ 824 ± 6	侵入上溪组被休宁组覆盖	[73]
皖南歙县 花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	824 ± 7 ~ 825 ± 7	侵入上溪组被休宁组覆盖	[73]
桂北寨滚 花岗闪长岩	LA-ICP-MS 锆石 U-Pb	835.8 ± 2.5	被田朋岩体及镁铁质岩侵入	[49, 50]

注: (1) 为 1:25 万湖南大庸幅和吉首区域地质调查报告(2007); (2) 据马铁球等未发表资料。

近年已经积累了有关江南造山带新元古代构造演化的大量高精度 SHRIMP 和 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄数据, 测试对象包括基性-超基性岩、火山-沉积岩、花岗岩等(表 1), 为区域地质事件及演化提供了较为精确而充分的年代学依据。基于这些测年资料(考虑误差范围), 同时结合造山带地质演化过程中事件序列的一般规律, 自早至晚厘定区内不同时代主要沉积和岩浆事件如下:

(1) 主体年限为 880 ~ 820Ma 的冷家溪群及相当地层沉积与火山喷发。代表性年龄数据有双桥山群中石英角斑岩和流纹质凝灰岩(878 ± 4) Ma 和(879 ± 5) Ma^[52], 湘东北冷家溪群(862 ± 11) Ma^[69]、桂北四堡群(867.7 ± 3.9) Ma^[69]和黔东北梵净山群(872 ± 3) Ma^[51](碎屑锆石), 以及地层中玄武岩 835 ~ 820Ma 的年龄^[39, 41, 49, 51](见后述)等。顺便指出 880 ~ 820Ma 的沉积时代表明冷家溪群及相当地层形成于新元古代, 而不是以往所认为的中元古代。

(2) 约 835 ~ 820Ma 的基性-超基性岩浆活动。具体年龄数据有桂北四堡群中基性-超基性岩(811.5 ± 4.8) Ma^[49]、(828 ± 7) Ma^[39], 黔东北梵净山群中玄武岩(822 ± 15) Ma^[51], 以及益阳地区“冷家溪群”

中枕状科马提质玄武岩(823 ± 6) Ma^[41]等。

(3) 约 835 ~ 820Ma 的新元古代中期早阶段花岗质岩浆活动。该期花岗岩沿江南造山带有较多分布, 主要岩性为花岗闪长岩。相关的年龄数据主要有: 桂北峒马岩体(824 ± 13) Ma^[49, 50], 寨滚岩体(835.8 ± 2.5) Ma^[49, 50], 本洞岩体(822.7 ± 3.8) Ma^[49, 50]、(819 ± 9) Ma^[73], 湘东北张邦源岩体(816 ± 4.6) Ma^[53]、葛藤岭岩体(833 ± 8) Ma(马铁球等未发表资料), 赣西北九岭岩体(819 ± 9) Ma、(820 ± 10) Ma、(828 ± 8) Ma^[43]以及(818 ± 10) Ma^[42]、(820 ± 10) Ma^[72], 皖南许村岩体(823 ± 17 ~ 827 ± 7) Ma^[73]、(823 ± 8) Ma^[43]、(829 ± 11) Ma^[42], 皖南歙县岩体(823 ± 9 ~ 825 ± 7) Ma^[73]等。

(4) 约 810 ~ 800Ma 的新元古代中期晚阶段花岗质岩浆活动。该期花岗岩发育相对较少, 主要为强过铝(黑云母)花岗岩。相关年龄数据主要有桂北田朋岩体(794.2 ± 8.1) Ma 和三防岩体(804.3 ± 5.2) Ma^[49, 50], 云南峨山岩体(818 ± 10) Ma^[41], 湘东北张坊岩体(817 ± 7) Ma(马铁球等未发表资料)等。

(5) 约 800 ~ 720Ma 的板溪群及相当地层沉积与火山喷发。相关年龄数据有湖南古丈五强溪组

火山灰(809 ± 8.4) Ma^[67]、杨家坪老山崖组凝灰岩(809 ± 16) Ma^[65]、杨家坪多益塘组沉凝灰岩(790 ± 15) Ma 和浮萍山多益塘组顶部沉凝灰岩(792 ± 12) Ma? 桂北三门街丹洲群内流纹英安岩(765 ± 14) Ma^[37]、湖南杨家坪渌水河组上部凝灰岩(758 ± 23) Ma^[61]以及湖南芷江板溪群牛牯坪组(725 ± 10) Ma^[38]等。湘北益阳沧水铺板溪群底部英安质火山角砾岩年龄为(814 ± 12) Ma, 与约 800Ma 的下限年龄大体吻合。

(6) 760Ma 前后的基性-超基性岩浆活动。主要年龄数据有湘西黔阳辉绿岩(747 ± 18) Ma(张春红等获得的 831.6Ma 年龄值谐和性太差^[74]而存疑较大, 本文不予采信)、通道超基性岩(756 ± 12) Ma 和(772 ± 11) Ma^[48]、古丈辉绿岩(768 ± 28) Ma^[37]以及桂北龙胜辉长辉绿岩(761 ± 8) Ma^[60]等。

(7) 约 720Ma ~ 630Ma 的南华系沉积作用。主要年龄数据有贵州松桃大塘坡组凝灰岩(667.3 ± 9.9) Ma^[61]和(662.9 ± 4.3) Ma^[64]、湖南古丈南沱组顶部火山灰(636.3 ± 4.9) Ma^[63]和江西上饶南沱组顶部火山灰(635.3 ± 5.4) Ma^[62]、黄陵震旦系陡山沱组底部凝灰岩(628.3 ± 5.8) Ma^[61]等。上述数据仅提供了 630Ma 左右的上限年龄; 结合前述板溪群 720Ma 左右的上限及区域上南华系与板溪群总体为连续沉积, 可将南华系下限年龄大致定在 720Ma。

2.2 雪峰造山带东缘新元古代中期沉积作用与岩浆活动

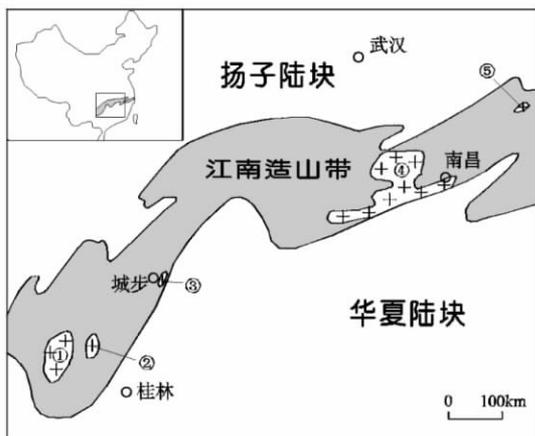


图2 江南造山带西段地质简图(据文献[34]修改)

新元古代花岗岩体: ①三防岩体; ②元宝山岩体; ③城步报木坪岩体; ④九岭岩体; ⑤休宁岩体

Fig. 2 Simplified geological map of the western part of the Jiangnan orogenic zone (modified from Zhou Jincheng et al., 2005)
Neoproterozoic granite masses: ① = Sanfang; ② = Yuanbaoshan; ③ = Baomuping in Chengbu; ④ = Jiuling; ⑤ = Xiuning

湖南城步位于雪峰造山带东缘(图2), 近年来于该地区新发现两个新元古代小花岗岩体^[59], 总面积约 20km²。岩体侵入于新元古代云场里组片岩、大理岩及变质火山岩中。主要岩性有片麻状细中粒黑云母花岗闪长岩和片麻状细中粒(斑状)黑云母二长花岗岩; 属 ASI 值大于 1.1 的强过铝花岗岩。花岗岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(805.7 ± 9.2) Ma^[59]。岩体中局部见暗色微粒包体; 在 K2O-Na2O 图解上显示为 I 型花岗岩。在 Maniar 和 Piccoli^[75]提出的多组主元素构造环境判别图解中, 样品点落在“岛弧+大陆弧+大陆碰撞花岗岩”(IAG+CAG+CCG)区; 在 Pearce et al.^[76]多组微量元素构造环境判别图解中则明确显示为火山弧花岗岩^[59]。鉴上, 初步判断城步新元古代花岗岩为与洋壳俯冲有关的岛弧花岗岩。

花岗岩所侵入的冷家溪群云场里组主要为绢云母微晶片岩、云母石英微晶片岩、含钙质黑云母微晶石英片岩、大理岩及黑云石英大理岩等, 夹变质火山岩。变质火山岩岩石类型有绿泥白云斜长片麻岩、黑云母二长片麻岩、黑云母斜长片麻岩、二云母二长片麻岩、斜长角闪岩、帘石阳起石片岩等, 原岩为基性(中)酸性火山岩。云场里组变质火山岩的锆石 SHRIMP U-Pb 年龄为(828 ± 10) Ma^[59]。

对大陆边缘增生型造山带的研究表明, 活动陆缘向洋增生过程中多存在洋壳俯冲带暨海沟位置的后退^[77-78]。显然, 俯冲带位置的后退可以或很可能引起大地构造相向洋的迁移。因此, 初步推测城步地区云场里组形成于弧前盆地, 其沉积时期西侧为岛弧; 尔后随着华南洋俯冲带向南东后退, 先期弧前盆地成为岛弧(增生弧)而形成城步新元古代岛弧花岗岩。此外, 弧前盆地发育火山碎屑沉岩建造、碳酸盐岩浊积岩建造及少量细碧角斑岩建造、低钾拉斑玄武岩建造等^[79], 前述云场里组的物质组成与之吻合。

2.3 雪峰造山带新元古代构造演化框架的厘定

以前述江南造山带不同沉积、岩浆事件的年代学研究为基础, 结合雪峰造山带东南缘城步新元古代花岗岩与火山岩研究新认识, 从活动陆缘增生与造山作用发展过程^[77-79]的一般概念出发, 经综合分析厘定了雪峰(江南)造山带及其东南缘新元古代构造演化过程, 自早至晚分 4 个阶段阐述如下。

(1) 880 ~ 820Ma 期间为岛弧岩浆作用阶段

本阶段的沉积-岩浆事件包括上述年限为 880 ~ 820Ma 的冷家溪群及相当地层的沉积-火山喷发、

约 835 ~ 820Ma 的基性-超基性岩浆活动以及约 835 ~ 820Ma 的新元古代中期早阶段花岗质岩浆活动等。

冷家溪群及相当地层四堡群、梵净山群、双桥山群、上溪群、双溪坞群等总体表现为扬子东南缘由岛弧-弧后盆地组成的弧-盆系火山-浊流沉积组合类型^[12]。其中江西境内的双桥山群下部以发育基性和部分超基性以及中酸性火山熔岩、火山碎屑沉积岩为特征,形成具海底火山溢流(熔岩)→火山碎屑(沉凝灰岩)→砂泥质沉积序列的细碧-石英角斑岩系建造;上部火山物质大为减弱,以浊流成因泥砂质沉积为主^[80]。相关构造单元自北而南有九岭岩浆弧、万载岛弧、东乡-德兴弧后洋盆、怀玉火山弧等^[12]。广西四堡群仅出露于桂北九万大山至元宝山两侧,厚度大于 5700m,总体为一套变质砂、泥岩建造,中部夹细碧岩、角斑岩、火山角砾岩等火山建造^[81],亦为弧-盆环境产物。湖南冷家溪群为含凝灰质的砂泥质浊积岩,被认为属相对稳定的弧后盆地相沉积^[5]。

王孝磊等的研究显示 835 ~ 820Ma 的基性-超基性岩更多具有岛弧火山岩的特征^[54]。益阳科马提质玄武岩尽管有被视为地幔柱作用的产物^[41],但最新研究认为其更具有岛弧岩浆特征^[33]。详细的地质地球化学特征研究表明,同期(835 ~ 820Ma)的花岗闪长岩(早阶段花岗岩)也具有岛弧花岗岩特征,在 Pearce et al. (1984) 的 Rb-(Y + Nb) 图解中明确落入火山弧花岗岩区^[50, 53, 54]。

综上所述,大约 880 ~ 820Ma 期间雪峰(江南)造山带为岛弧岩浆作用阶段,构造环境总体上应受控于华南洋壳向 NNW 的俯冲。其中贯穿始终的冷家溪群及相当地层(火山-沉积建造)主要形成于岛弧和弧后盆地。835 ~ 820Ma 期间可能因俯冲板片的折断、拆沉引发深部地幔上涌,其与伴生的拉张作用共同导致了基性-超基性火山岩喷发或侵位,并使基底岩石部分熔融而形成花岗闪长岩。

以上是关于雪峰(江南)造山带主体的构造过程。从现今空间关系来看(图 2), 828Ma 前后桂北本洞一带即处于岛弧部位或居于江南造山带内,因而形成了花岗闪长岩体;而城步地区则更偏于南东而居于雪峰造山带东南侧并处于弧前盆地环境,从而形成了云场里组的火山-沉积建造。

(2) 820 ~ 810Ma 弧-陆(主)碰撞阶段

本阶段目前尚无相关的变形变质年代数据,主要从造山带构造演化一般过程出发,根据此前 835

~ 820Ma 岛弧花岗岩和此后 810 ~ 800Ma 后碰撞花岗岩的发育,以及碰撞相关板溪群/冷家溪群不整合事件等合理推定。期间扬子陆块与其东南缘的岛弧之间发生弧-陆碰撞造山(武陵运动或四堡运动)造成板溪群与冷家溪群之间的角度不整合,强烈挤压产生的褶皱与逆冲断裂活动使地壳增厚。在此过程中深部地壳逐渐升温并形成热量的积聚,至主碰撞末期温度达到峰值。本阶段可能因强烈挤压体制下的封闭环境控制而无花岗质岩浆侵位。

在上述江南造山带发生弧-陆碰撞的同时,位于东南侧的城步地区大致处于弧前盆地向岛弧发展的过渡时期。

(3) 810 ~ 800Ma 后碰撞阶段

本阶段的主要物质记录为约 810 ~ 800Ma 的(黑云母)花岗岩(晚阶段花岗岩),均为源于陆壳重熔的强过铝(黑云母)花岗岩,属典型的后碰撞花岗岩类,其因继变形峰期之后区域挤压作用减弱,经先期增温的地壳岩石减压熔融、岩浆在相对开放的环境下向上侵位而形成。需要说明的是,研究显示在 Pearce et al. ^[76] 的 Rb-(Y + Nb) 图解中本期花岗岩落入同碰撞花岗岩区^[50],其主要与不同历史阶段地学认识差异有关,而与本文“后碰撞”认识实际并不矛盾。20 世纪 80 年代, Pearce、Pitcher ^[76, 82] 等人都认为与碰撞有关的强过铝(SP)花岗岩是在同碰撞早期的地壳收缩与堆叠的阶段中所形成,然而近来的研究却发现大量原先认为与同碰撞有关的 SP 花岗岩其实是在地壳加厚达到最高值以后才定位,即实际属后碰撞花岗岩^[83]。最现实的例子如湘东南印支期花岗岩,即是继中三叠世后期陆内挤压造山变形峰期之后,于挤压减弱、应力松弛的条件下形成^[84-88]。

在上述江南造山带于后碰撞环境下形成强过铝(黑云母)花岗岩的同时,位于东侧的城步地区则因华南洋壳俯冲消减带后退而形成新的岛弧(增生弧),城步新元古代花岗岩即为岛弧岩浆活动产物。

(4) 800 ~ 630Ma 裂谷盆地阶段

本阶段主要物质记录为约 800 ~ 720Ma 的板溪群和约 720Ma ~ 630Ma 的南华系沉积,以及年龄为 760Ma 左右的基性-超基性岩^[33]。已有研究表明,位于震旦系和四堡造山不整合面之间的板溪群和南华系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^[30, 31],其沉积时期中国南方具地垒、地堑台盆相间的古地理格

局^[89]。760Ma 前后存在一次强烈的伸展事件。其中湘西“黔阳”、“古丈”碱性玄武岩具有类似 OIB 的岩石地球化学特征,岩浆来自软流圈地幔;湘西南“通道”基性-超基性岩与邻近的桂北“龙胜”基性-超基性岩类似弧玄武岩,岩浆来自富集的岩石圈地幔^[33]。鉴于这些基性-超基性岩分布面积积极小,不应是地幔柱活动产物,而是与造山后伸展有关^[33]。

以上是雪峰造山带及其东缘新元古代构造演化过程。值得指出的是,其中雪峰(江南)造山带主体与其东侧的城步地区不同时期构造背景的差异,较清楚地揭示出扬子板块东南缘的岛弧增生过程。此为前人基于区域和宏观地质特征提出的江南造山带“岛弧褶皱带”和“多岛弧盆系”^[4-9,12]认识提供了一个具体例证。

4 讨论

江南造山带 820 ~ 835Ma 的花岗闪长岩和 800 ~ 810Ma 的花岗岩等两阶段花岗岩及其构造背景的厘定,是以上构造演化认识的关键内容之一。已有研究表明早阶段花岗闪长岩和晚阶段花岗岩均具有强过铝花岗岩特征,后者由基底沉积岩系或成熟地壳岩石部分熔融形成;前者以壳源为主,同时有幔源铁镁质岩浆加入^[46,50]。王孝磊等^[50]提出两阶段花岗岩为形成于扬子和华夏板块间碰撞高峰(约 870Ma)之后的后碰撞环境;而葛文春等^[46]、李献华等^[42,71]则认为这两类新元古代过铝花岗岩的形成与地幔柱上升诱发岩石圈伸展的张性构造相联系。显然,这两种不同认识均将两阶段花岗岩视为同一构造阶段和构造环境的产物。事实上,鉴于两阶段花岗岩地球化学特征、成因来源迥然有异,他们很可能形成于不同的构造环境;其在时间上存在明显间断,空间上则相互共生(如桂北地区),理应为不同构造演化阶段的产物。因此,本文研究提出早阶段花岗闪长岩和晚阶段花岗岩分别形成于岛弧环境和后碰撞环境,其间的岩浆活动间歇期则为弧-陆主碰撞时期的认识,进一步揭示了江南造山带新元古代中期构造活动的细节特征。

近年来,周金城等^[33]提出了江南造山带新元古代由俯冲-岛弧(约 878Ma ~ 822Ma) → 扬子与华夏陆块碰撞(约 835Ma ~ 820Ma) → 后造山伸展(820Ma 以后)的构造演化框架,认为 835Ma ~ 820Ma 的早阶段 S-型花岗闪长岩为扬子与华夏陆块碰撞所形成,晚阶段(作者认为 804 ~ 771Ma)花岗

岩形成于后造山伸展环境。显然,其关于 835Ma ~ 800Ma 期间构造演化暨两阶段 S-型花岗岩形成构造环境的认识与本文存在显著差异。鉴于早阶段花岗岩具显著岛弧花岗岩地球化学特征^[50,53,54],而晚阶段花岗岩则为典型后碰撞壳源 S 型强过花岗岩花岗岩,故笔者认为本文认识应该更为合理。

作为扬子与华夏陆块分界的钦杭结合带长期以来一直是华南大地构造研究的重点。萍乡以东的钦杭结合带东段(浙赣段)物质记录总体上较为清楚,如最东端的绍兴-江山段带内发育由超镁铁质岩-镁铁质岩-复理式建造组成的大洋残块^[90],赣中、赣东北、皖南一带也可见歙县-德兴蛇绿混杂岩带等残体^[91]。钦杭结合带东段由扬子与华夏陆块在晋宁期碰撞对接形成,也已成为多数研究者的共识^[4,6,89-92]。但晋宁期钦杭结合带的南西段(湘桂段)因板溪群一下古生界组成的湘桂加里东造山带和中泥盆世一中生代拗陷叠覆而未见明确的物质记录,关于其构造性质尚未有明确一致的看法,或认为晋宁运动后为一残留洋盆,且该盆地一直延续到加里东期^[5,6,90,91,93-96];或认为晋宁期末扬子与华夏陆块已经碰撞^[30-33]。本文关于雪峰造山带新元古代构造演化认识,为残留洋观点提供了一定支持:雪峰造山带东南缘城步地区 810 ~ 800Ma 期间为岛弧环境,暗示其东南侧同期存在华南洋(俯冲),因此雪峰造山带 820 ~ 810Ma 的碰撞事件并非两陆块的碰撞,而应为弧-陆碰撞;鉴于 810 ~ 800Ma 期间存在华南洋,而 800Ma 开始整个华南地区进行裂谷盆地演化阶段^[30,31,89],因此可进一步推断雪峰造山带南东面的雪峰期和南华纪沉积叠覆于华南残留洋盆之上。

5 结论

(1) 雪峰造山带新元古代经历了 880 ~ 820Ma 岛弧岩浆作用阶段 → 820 ~ 810Ma 弧-陆(主)碰撞阶段 → 810 ~ 800Ma 后碰撞阶段 → 800 ~ 630Ma 裂谷盆地阶段的构造演化过程。同期造山带东缘城步地区则由弧前盆地(835 ~ 820Ma) → 岛弧(810 ~ 800Ma) → 裂谷盆地(800 ~ 630Ma) 演进。

(2) 雪峰造山带及其东南缘新元古代构造演化反映出扬子陆块东南缘的岛弧增生过程,并暗示造山带南东面的雪峰期和南华纪沉积叠覆于华南残留洋盆之上。

参考文献:

- [1] 刘英俊, 孙承轅, 马东升. 江南金矿及其成矿地球化学背景 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1993. 1-260.
- [2] 黄汲清. 中国主要地质构造单元 [J]. 中央地质调查所地质专报, 甲种, 1945, 20: 1-165.
- [3] 张文佑. 中国及邻区海陆大地构造 [M]. 北京: 科学出版社, 1986. 1-575.
- [4] 王鸿祯. 中国地质构造发展的主要阶段 [J]. 地球科学, 1982, 7(3): 155-137.
- [5] 王鸿祯, 杨巍然, 刘本培. 华南地区古大陆边缘构造史 [M]. 武汉: 武汉地质学院出版社, 1986.
- [6] 刘宝珺, 许效松, 潘杏南, 等. 中国南方古大陆沉积地壳演化与成矿 [M]. 北京: 科学出版社, 1993.
- [7] 郭令智, 施央申, 马瑞士. 华南大地构造格架和地壳演化 [A]. 国际交流地质学术论文集 (C). 北京: 地质出版社, 1980. 1: 109-116.
- [8] 郭令智, 施央申, 马瑞士, 等. 中国东南部地体构造的研究 [J]. 南京大学学报(自然科学版), 1984, 26(4): 1-7.
- [9] 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.
- [10] 殷鸿福, 吴顺宝, 杜远生, 等. 华南是特提斯多岛洋体系的一部分 [J]. 地球科学-中国地质大学学报, 1999, 24(1): 1-12.
- [11] 尹福光, 万方, 陈明. 泛华夏大陆群东南缘多岛弧盆系统 [J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003, 30(2): 126-131.
- [12] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 中国大地构造单元划分 [J]. 中国地质, 2009, 36(1): 1-28.
- [13] 朱夏. 试论中国中生代油气盆地的地球动力学背景 [A]. 见: 朱夏“《论中国含油气盆地构造》” [C]. 北京: 石油工业出版社, 1980. 61-70.
- [14] 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 雪峰山陆内造山带的构造特征与演化 [J]. 高校地质学报, 1998, 4(4): 432-443.
- [15] 丘元禧, 张渝昌, 马文璞. 雪峰山的构造性质与演化: 一个陆内造山带的形成与演化模式 [M]. 北京: 地质出版社, 1999. 1-155.
- [16] 丁道桂, 郭彤楼, 胡明霞, 等. 论江南-雪峰基底拆离式构造——南方构造问题之一 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(2): 120-127.
- [17] 丁道桂, 郭彤楼, 刘运黎, 等. 对江南-雪峰带构造属性的讨论 [J]. 地质通报, 2007, 26(7): 801-809.
- [18] 丁道桂, 刘光祥, 吕俊祥, 等. 扬子板块海相中生界盆地的递进变形改造 [J]. 地质通报, 2007, 26(9): 1178-1188.
- [19] 许靖华, 孙枢, 李继亮. 是华南造山带而不是华南地台 [J]. 中国科学 B 辑, 1987, 12(2): 1107-1115.
- [20] HSÜ K J, SUN S, Li J. Mesozoic overthrust tectonics in south China [J]. Geology, 1988, 16: 418-421.
- [21] 李继亮, 孙枢, 许靖华, 等. 南华夏造山带构造演化的新证据 [J]. 地质科学, 1989, 24(3): 217-226.
- [22] 陈海泓, 肖文交. 多岛海型造山作用——以华南印支期造山带为例 [J]. 地学前缘, 1998, 5(增刊): 95-102.
- [23] 赵崇贺, 何科昭, 周正国, 等. 关于华南大地构造问题的再认识 [J]. 现代地质, 1996, 10(4): 512-517.
- [24] 何科昭, 赵崇贺, 乐昌硕, 等. “板溪群”构造属性的再认识与思考 [J]. 地学前缘, 1999, 6(4): 353-362.
- [25] 陈旭, 戎嘉余, Rowley D B, 等. 对华南早古生代板溪群的质疑 [J]. 地质论评, 1995, 41(5): 389-398.
- [26] 廖卓庭. 一则更正和由此引发的思考 [J]. 安徽地质, 2000, 19(1): 78-80.
- [27] 唐晓珊, 黄建中, 郭乐群. 再论湖南板溪群及其大地构造环境 [J]. 湖南地质, 1997, 16(4): 219-226.
- [28] 李献华. 赣东北蛇绿混杂岩带中硅质岩的地球化学特征及构造意义 [J]. 中国科学(D 辑), 2000, 30(3): 284-290.
- [29] 张进, 马宗晋, 陈必河, 等. 雪峰山中段中生代变形的特征及意义——以绥宁-靖州-天柱-新晃剖面为例 [J]. 地质通报, 2010, 29(1): 44-57.
- [30] 王剑, 刘宝珺, 潘桂棠. 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.
- [31] 王剑. 华南“南华系”研究新进展——论南华系地层划分与对比 [J]. 地质通报, 2005, 24(6): 491-495.
- [32] 柏道远, 周亮, 王先辉, 等. 湘东南南华系—寒武系砂岩地球化学特征对华南新元古代—早古生代构造背景的制约 [J]. 地质学报, 2007, 81(6): 755-771.
- [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.
- [34] 周金城, 王孝磊, 邱检生. 江南造山带西段岩浆作用特性 [J]. 高校地质学报, 2005, 11(4): 527-533.
- [35] 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.
- [36] 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 [J]. 地球化学, 2008, 37(4): 382-398.
- [37] ZHOU JIBIN, LI XIANHUA, GE WENCHUN et al. Age and origin of middle Neoproterozoic mafic magmatism in southern Yangtze Block and relevance to the break-up of Rodinia [J]. Gondwana Research, 2007, 12(12): 184-197.
- [38] ZHANG Q R, LI X H, FENG L J et al. A new age constraint on the onset of the Neoproterozoic glaciations in the Yangtze Platform, South China [J]. Journal of Geology, 2008, 116: 423-429.
- [39] LI Z X, LI X H, KINNY P D. The breakup of Rodinia: Did it start with a mantle plume beneath South China [J]? Earth and Planetary Science Letters, 1999, 173: 171-181.
- [40] 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 superplume that broke up Rodinia [J]. Precambrian Research, 2003, 122(1-4): 85-109.
- [41] WANG X C, LI X H, LI W X et al. Ca. 825 Ma komatitic basalts in south China: first evidence for >1500°C mantle melts by a Rodinian mantle plume [J]. Geology, 2007, 35(2): 1103-1106.
- [42] 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.
- [43] LI X H ,LI Z X ,GE W C et al. Neoproterozoic granitoids in South China: crustal melting above a mantle plume at ca. 825Ma [J]? *Precambrian Research* 2003 ,122: 45–83.
- [44] Ye M F ,Li X H ,Li W X 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(1/2) : 144–156.
- [45] 葛文春,李献华,梁细荣,等. 桂北元宝山宝坛地区约 825Ma 镁铁-超镁铁岩的地球化学及其地质意义 [J]. *地球化学* , 2001 ,30(2) : 123–130.
- [46] 葛文春,李献华,李正祥,等. 桂北新元古代两类过铝花岗岩的地球化学研究 [J]. *地球化学* 2001 ,30(1) : 24–34.
- [47] 葛文春,李献华,李正祥,等. 桂北龙胜丹洲群火山岩的地幔源区及大地构造环境 [J]. *长春科技大学学报* ,2001 ,31(1) : 20–24.
- [48] WANG XIAOLEI ,ZHOU JINCHENG ,QIU JIANSHEG et al. Geochronology and geochemistry of Neoproterozoic mafic rocks from western Hunan ,South China: implications for petrogenesis and post-orogenic extension [J]. *Geological Magazine* 2008 ,145(2) : 215–233.
- [49] WANG XIAOLEI ,ZHOU JINCHENG ,QIU JIANSHEG et al. LA-ICP-MS U-Pb zircon geochronology of the Neoproterozoic igneous rocks from Northern Guangxi ,South China: Implications for tectonic evolution [J]. *Precambrian Research* 2006 ,145: 111–130.
- [50] 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 [J]. *岩石学报* 2006 ,22(2) : 326–342.
- [51] WANG XIAOLEI ,ZHOU JINCHENG ,QIU JIANSHEG. Geochronology of Neoproterozoic mafic rocks and sandstones from northeastern Guizhou ,South China: Coeval arc magmatism and sedimentation [J]. *Precambrian Research* 2009 ,170: 27–42.
- [52] WANG XIAOLEI ,ZHAO GUOCHUN ,ZHOU JINCHENG et al. Geochronology and Hf isotopes of zircon from volcanic rocks of the Shuangqiaoshan Group , South China: implications for the Neoproterozoic tectonic evolution of the eastern Jiangnan orogen [J]. *Gondwana Research* . 2008 ,18(14) : 355–367.
- [53] 马铁球,陈立新,柏道远,等. 湘东北新元古代花岗岩体锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及地球化学特征 [J]. *中国地质* 2009 ,36(1) : 65–73.
- [54] 王孝磊,周金城,邱检生,等. 湖南中-新元古代火山-侵入岩地球化学及成因意义 [J]. *岩石学报* 2003 ,19(1) : 49–60.
- [55] 王孝磊,周金城,邱检生,等. 湘东北新元古代强过铝花岗岩的成因: 年代学和地球化学证据 [J]. *地质论评* 2004 ,50(1) : 65–76.
- [56] 周金城,王孝磊,邱检生,等. 南桥高度亏损 N-MORB 的发现及其地质意义 [J]. *岩石矿物学杂志* 2003 ,22(3) : 211–216.
- [57] 周金城,王孝磊,邱检生,等. 桂北中-新元古代镁铁质-超镁铁质岩的岩石地球化学 [J]. *岩石学报* 2003 ,19(1) : 9–18.
- [58] 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.
- [59] 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.
- [60] 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.
- [61] 尹崇玉,王砚耕,唐烽,等. 贵州松桃南华系大塘坡组凝灰岩锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 [J]. *地质学报* ,2006 ,80(2) : 273–278.
- [62] 储雪蕾,Wolfgang Todt,张启锐,等. 南华-震旦系界线的锆石 U-Pb 年龄 [J]. *科学通报* 2005 ,50(6) : 600–602.
- [63] ZHANG S H ,JIANG G Q ,HAN Y G. The age of the Nantuo Formation and Nantuo Glaciation in South China [J]. *Terra Nova* , 2008 ,20(4) : 289–294.
- [64] ZHOU C ,TUCKER R ,XIAO S et al. New constraints on the ages of Neoproterozoic glaciation in South China [J]. *Geology* ,2004 ,32(5) : 437–440.
- [65] 尹崇玉,刘敦一,高林志,等. 南华系底界与古城冰期的年龄: SHRIMP U-Pb 定年证据 [J]. *科学通报* ,2003 ,48(16) : 1721–1725.
- [66] 吴荣新,郑永飞,吴元宝. 皖南新元古代井潭组火山岩 U-Pb 定年和同位素地球化学研究 [J]. *高校地质学报* ,2007 ,13(2) : 282–296.
- [67] 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意义 [J]. *中国科学 D 辑: 地球科学* 2008 ,38(12) : 1496–1503.
- [68] 王剑,李献华,T. Z. Duan,刘敦一,李彪,李忠雄,高永华. 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(46) : 1726–1731.
- [69] WANG XIAOLEI ,ZHOU JINCHENG ,GRIFFIN W L et al. Detrital zircon geochronology of Precambrian basement sequences in the Jiangnan orogen: dating the assembly of the Yangtze and Cathaysia blocks [J]. *Precambrian Research* . ,2007 ,159: 117–131.
- [70] 吴荣新,郑永飞,吴元宝. 新元古代石耳山花岗岩锆石 U-Pb 定年以及元素和氧同位素地球化学研究 [J]. *高校地质学报* , 2005 ,11(3) : 364–382.
- [71] 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 [J]. *地球化学* ,1999 ,28(1) : 1–9.
- [72] 钟玉芳,马昌前,余振兵,等. 江西九岭花岗岩类复式岩基锆石 SHRIMP U-Pb 年代学 [J]. *地球科学(中国地质大学学报)* 2005 ,30(6) : 685–691.
- [73] WU RONGXIN ,ZHENG YONGFEI ,WU YUANBAO. Reworking of juvenile crust: element and isotope geochemistry evidence from Neoproterozoic granodiorite in South China [J]. *Precambrian Research* 2006 ,146: 179–212.
- [74] 张春红,范蔚茗,王岳军,等. 湘西隘口新元古代基性-超基性岩墙年代学和地球化学特征: 岩石成因及其构造意义 [J]. *大地构造与成矿学* 2009 ,33(2) : 283–239.
- [75] MANIAR P D ,PICCOLI P M. Tectonic discrimination of granitoids [J]. *Geol. Soc. Am. Bull.* ,1989 ,101: 635–643.
- [76] PEARCE J A ,HARRIS N B W ,TINDLE A G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks *Journal of Petrology* [J]. 1984 ,25(4) : 956–983.

- [77] 李继亮. 增生型造山带的基本特征[J]. 地质通报, 2004, 23(9-10): 947-951.
- [78] 袁四化, 潘桂棠, 王立全, 等. 大陆边缘增生造山作用[J]. 地学前缘, 2009, 16(3): 31-48.
- [79] 潘桂棠, 肖庆辉, 陆松年, 等. 大地构造相的定义、划分、特征及其鉴别标志[J]. 地质通报, 2008, 27(10): 1613-1637.
- [80] 江西省地质矿产局. 江西省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1984.
- [81] 广西壮族自治区省地质矿产局. 广西壮族自治区区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [82] PITCHER W S. Granite type and tectonic environment[A]. Hsu K. Mountain building processes [C]. London: Academic Press, 1983. 19-40.
- [83] 肖庆辉, 邓晋福, 马大铨, 等. 花岗岩研究思维与方法[M]. 北京: 地质出版社, 2002. 277-280.
- [84] 柏道远, 黄建中, 刘耀荣, 等. 湘东南及湘粤赣边区中生代地质构造发展框架的厘定[J]. 中国地质, 2005, 32(4): 557-570.
- [85] 柏道远, 陈建成, 马铁球, 等. 王仙岭岩体地质地球化学特征及其对湘东南印支晚期构造环境的制约[J]. 地球化学, 2006, 35(2): 113-125.
- [86] 柏道远, 黄建中, 李金冬, 等. 华南中生代构造演化过程的多地质要素约束——湘东南及湘粤赣边区中生代地质研究的启示[J]. 大地构造与成矿学, 2007, 31(1): 1-13.
- [87] 柏道远, 周亮, 马铁球, 等. 湘东南印支期花岗岩成因及构造背景[J]. 岩石矿物学杂志, 2007, 26(3): 197-212.
- [88] 柏道远, 马铁球, 王先辉, 等. 南岭中段中生代构造-岩浆活动与成矿作用研究进展[J]. 中国地质, 2008, 35(3): 436-455.
- [89] 王剑, 潘桂棠. 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.
- [90] 水涛. 中国东南大陆基底构造格局[J]. 中国科学(B辑), 1987, 4(4): 414-422.
- [91] 杨明桂, 黄水保, 楼法生, 等. 中国东南陆区岩石圈结构与大规模成矿作用[J]. 中国地质, 2009, 36(3): 528-543.
- [92] 舒良树. 华南前泥盆纪构造演化: 从华夏地块到加里东期造山带[J]. 高校地质学报, 2006, 12(4): 418-431.
- [93] 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.
- [94] 于津海, 魏震洋, 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.
- [95] 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.
- [96] 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.

Neoproterozoic tectonic evolution of the Xuefeng orogenic zone in Hunan

BAI Dao-yuan¹, JIA Bao-hua², ZHONG Xiang¹, JIA Peng-yuan¹, LIU Yao-rong¹, MA Tie-qiu¹
(1. Hunan Institute of Geological Survey, Changsha 410011, Hunan, China; 2. Hunan Bureau of Geology and Mineral Resources, Changsha 410011, Hunan, China)

Abstract: The present paper deals, on the basis of abundant lithogeochemical and geochronologic data, with the reconstruction of the Neoproterozoic tectonic evolution in the Xuefeng orogenic zone and its southeastern margin. During 880-820 Ma, the Xuefeng orogenic zone was initiated in the stage of island-arc magmatism, and the Chengbu region on its southeastern margin appeared as a forearc basin. During 820-810 Ma, the Xuefeng orogenic zone experienced the stage of arc-continent collision, and the Chengbu region displays the transition from a forearc basin to an island arc. During 810-800 Ma, the Xuefeng orogenic zone went into the post-collision stage, and a new island arc came into being in the Chengbu region. Till 800-630 Ma, both the Xuefeng orogenic zone and its southeastern margin were developed into the rift basin without exception. The Neoproterozoic tectonic evolution outlined above suggests the island arc accretion on the southeastern margin of the Yangtze landmass, and overlapping of the Xuefengian and Nanhuan deposits upon the Huanan residual oceanic basin.

Key words: Xuefeng orogenic zone; tectonic evolution; Neoproterozoic; Hunan