

文章编号:1007-3701(2003)03-0001-07

赣北前震旦纪构造变形特征及其动力学意义

章泽军,赵温霞,秦松贤,张 志,蔡雄飞,顾延生

(中国地质大学地球科学学院,湖北 武汉 430074)

摘要:赣北存在近南北向(D_1)、近东西向(D_2)、北北西—北北东向(D_3)三个世代的叠加褶皱。它们是华夏板块与扬子板块缓慢拼贴过程中应力向板内传递的结果,均形成于前震旦纪。从发生的时间来看,应与格林威尔造山运动相当。

关键词:扬子板块;前震旦纪;叠加褶皱;构造变形

中图分类号:P542

文献标识码:A

板块拼贴带与板内变形是地质事件群中不可分割的两大组成部分,二者组成特征虽不同,但共同赋存着板块碰撞过程中动力作用的全部信息。然而,以往的研究中多聚焦于前者^[1~9],忽视了板块碰撞过程中板内变形响应的研究,这可能就是导致华南大地构造长期存在纷争的主要原因^[10~31]。近十多年来,在对扬子板块东南部赣北一带(图1)1:5万详细填图的基础上,通过对前震旦纪构造变形与同构造期热事件的系统研究,所得结果无疑是对原华南大地构造格局的挑战。这里的板内构造变形信息主要指被上下两个构造运动界面所限定、留存于以浅变质砂、板岩组合为主体的双桥山群内的变形系统^①。下界面(I)为双桥山群与下伏早元古代星子岩群之间的角度不整合面,仅在庐山星子一带局部残存^[15]。上界面(II)指震旦纪(莲坨组)与下伏双桥山群之间的角度不整合面,这一界面多被晚期形成的、大致顺层或低角度切层的滑脱断层所叠置。界面II之上即以莲坨组为底的这一构造层赋存有震旦纪之后的全部构造变形历史;界面II之下的双桥山群则犹如刚体,滑脱界面似乎起到了释放应力的作用,这或许就是在双桥山群中震旦纪之

后的变形叠加甚微的原因。因而界面I、II之间的双桥山群记载着中元古代后期至震旦纪之前的构造变形与同期岩浆热液活动事件信息。

1 构造变形

在双桥山群浅变质岩系中,已确定形成于震旦纪之前并能在图面上表达的褶皱变形有三期,即早期近SN向褶皱系统(D_1)、中期近EW向褶皱系统(D_2)和晚期NNW—NNE向褶皱系统(D_3)。

1.1 近SN向褶皱变形(D_1)

从赣北向西至湘、鄂,向东入皖、浙均可寻其踪迹,褶皱作用变形面为原始层理(S_0),与其相伴的劈(片)理和区域性断裂较为少见。横剖面上一般显示出轴面近于直立、总体形态较开阔的褶皱构造,但两翼次级褶皱则局部复杂化甚至斜歪倒转,故其轴面常呈“反扇形”复式褶皱组合。因被后期褶皱改造,枢纽均已不同程度地发生弯曲,呈现出多方向展布的假象,恢复原位可能以近SN向为主体。从区域上看,自赣西北向东至景德镇以西,变形程度由弱到强,且被后期褶皱改造的程度呈减弱的趋势,其叠加样式呈现多样性。

在赣西北修水一带,褶皱轴迹近SN向或略呈S形弯转折^[16,17]、或被改造为向西开口的“U”形,展现多种形态,以致在露头尺度上难以辨认其存在。枢纽波状起伏,扬起、倾伏交替变更的间距大致为1~2 km,包络面呈SN向或被晚期褶皱叠加所

收稿日期:2003-04-15

基金项目:中国地质调查局1:5万区域地质调查项目(200013000104)。

作者简介:章泽军(1949—),男,教授,从事地质力学、构造力学、区域地质调查及科研工作。

①中国地质大学(武汉),1:5万山口街、征村、马坨、修水县、港口和三都幅联测报告。

形成的小褶皱枢纽总体呈近 EW 向展布,指示早期褶皱枢纽近 SN 向^[32]。横剖面上呈开阔简单型,或个别略显为同斜倒转。变形强度由北向南有减弱的趋势(见文献^[17]图 1)。

在赣东北景德镇以西, D_1 变形轴迹在平面上多为“S”形、反“S”形、“ε”形和“ξ”形,但从单个褶皱轴迹数度弯曲呈弧形的包络面分析,总体仍有近

SN 向展布之趋势(图 2)。枢纽一般波状起伏,除某些区段可观察到转折端处的倾状角和扬起角外,核部地层沿轴向断续分布亦为一重要特征。与赣西北相比较,其变形有增强的趋势,露头尺度上明显被后期褶皱改造呈横跨或斜跨叠加(图 3、4),但无论是露头尺度或填图尺度,其叠加褶皱呈多种样式。与赣西北相比较,不仅变形强烈,并伴有

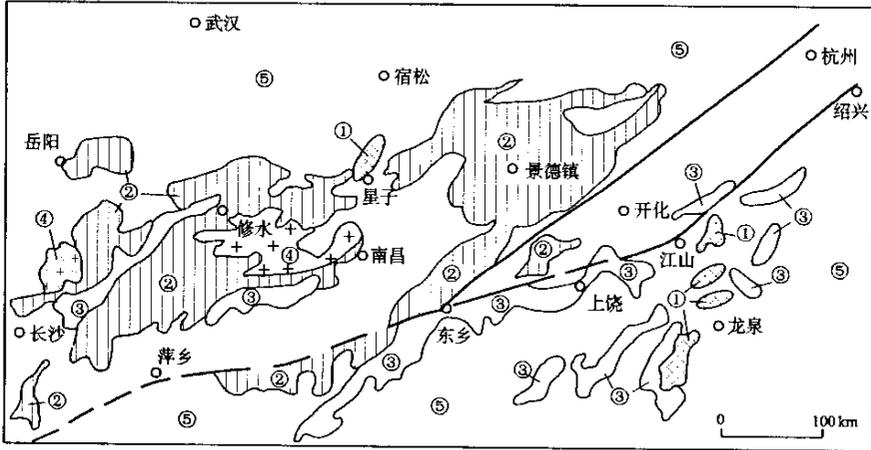


图 1 赣北前震旦纪区域地质构造简图

Fig. 1 The pre-Sinian tectonic geological map of North Jiangxi

①新太古—古元古代分布区;②中元古代分布区;③中—新生代盆地;④前震旦纪岩体;⑤新元古代后沉积层

花岗岩侵位于 NE 向褶皱的核部(图 2),经中国地质大学测试中心测试,其单颗粒锆石直接蒸发年龄为 1 037 Ma。

1.2 近 EW 向构造系统(D_2)

表现为褶皱、断裂与同构造期的岩浆活动。近 EW 向褶皱广为分布,轴面劈理发育,产状稳定,总体近 EW 向展布,但从赣西北向东渐向北东偏转,变形强度呈减弱的趋势,与早期褶皱横跨或斜跨叠加。在赣西北,褶皱变形强烈,两翼多由一系列不同级别的次级褶皱所复杂化的同斜紧闭褶皱组成,其形态严格受岩性与层厚制约。厚层变质砂岩组成的褶皱多具开阔圆滑的转折端,板岩与薄层变质砂岩组成的褶皱则通常为紧闭尖楞褶皱,褶皱核部常伴有花岗闪长岩侵位。本区极少见到露头尺度的叠加褶皱。而在赣东北,则 EW 向褶皱变形相对较弱,横跨或斜跨于 D_1 期褶皱之上,将 D_1 改造呈“S”型,又因 D_3 期褶皱叠加而弯曲。露头尺度上明显见到 D_2 叠置在 D_1 之上,展布方位随所处构造位置不同而改变。在南部滨田一带表现为尖楞褶皱,以 25° 角北东东 72° 方向倾伏(图 3);向北至枳田以西一

带则变为以 12° 角向北西西 252° 方向倾伏(图 4)。

近 EW 向古断裂仅在赣西北局部可见,伴随发育在近 EW 向褶皱翼部,由构造角砾岩带、构造片理化带及相间的弱变形域组成。总体显示类似于软沉积变形的强烈流动变形特征,但又同时保留有斜列于带中的菱形透镜体这一脆性破裂痕迹。考虑到微观及宏观构造特征,加之已固结成岩以区别于盖层沉积之后的断裂,应属与 EW 向褶皱相伴生的前震旦纪古断裂。

1.3 NNW—NNE 向褶皱变形(D_3)

晚期即第三期制图尺度与露头尺度的褶皱均分布在赣东北,但无论从规模上或发育程度上远不如前两期褶皱(图 2)。制图尺度主要表现为第二期褶皱枢纽再褶皱,至少可识别出三个单体“褶曲”,其平面形态均呈“短轴状”。由南向北展布方位有由 NNW 向变为 NNE 向延伸的趋势,总体构成向西凸出的弧形,只不过是弧顶部位被白恶系红层与第四系所叠覆而已,其露头型式(第三期露头尺度的褶皱)具有大致相同的变化趋势,即南部呈 NNW 向(图 3),北部则为 NNE 向(图 4)。

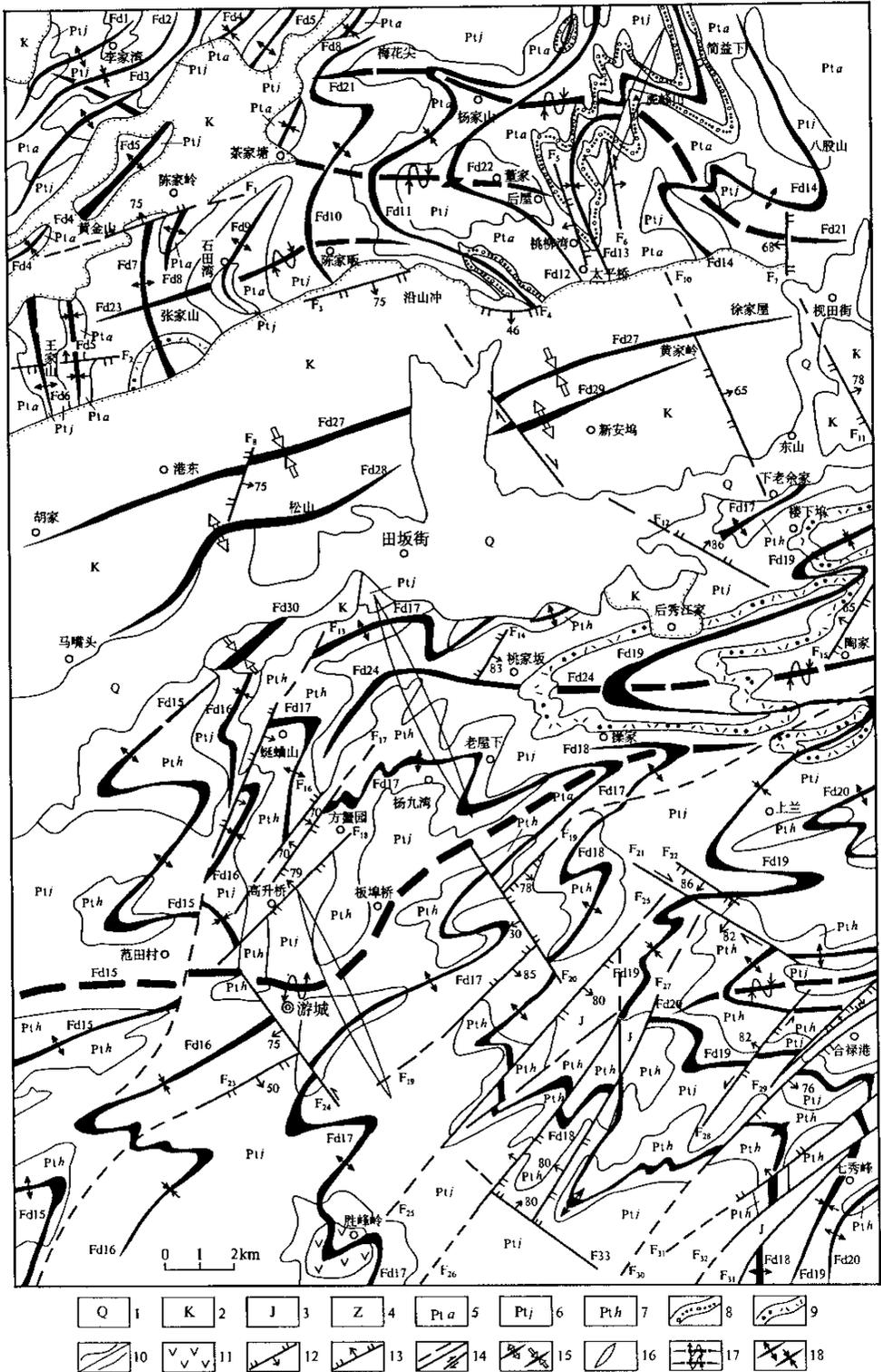


图 2 赣东北景德镇西田坂街、游城一带构造纲要图

Fig. 2 Simplified structural map of Tianbanjie to Youcheng

1. 第四系; 2. 白垩系; 3. 侏罗系; 4. 震旦系; 5. 中元古界安乐林组; 6. 中元古界计林组; 7. 中元古界横涌组; 8. 安乐林组中厚层状含泥砾变砂岩; 9. 计林组中厚层状含泥砾变砂岩; 10. 实测地质界线/角度不整合地质界线; 11. 安山岩; 12. 逆断层; 13. 正断层; 14. 推测断层/平移断层; 15. 燕山期背(向)斜轴迹; 16. 四堡—晋宁晚期褶皱轴迹; 17. 四堡—晋宁中期背(向)斜轴迹; 18. 四堡—晋宁早期背(向)斜轴迹

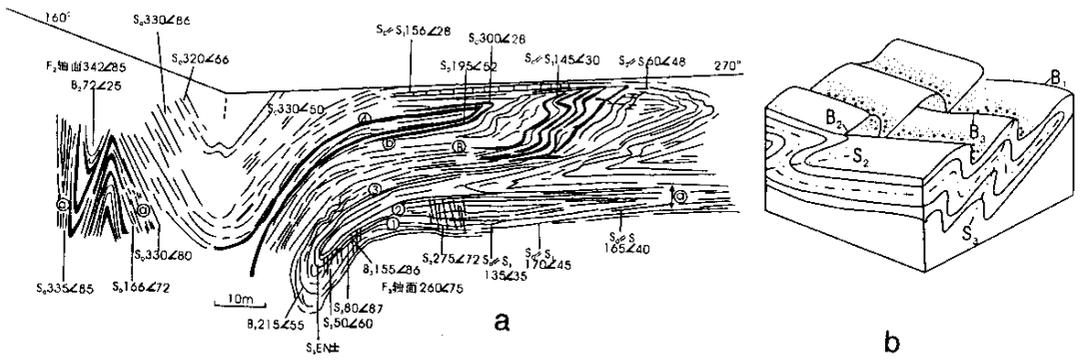


图3 赣东北滨田东三期褶皱叠加素描立体图

Fig. 3 Three generations of superimposed folds in eastern Bintian, northeastern Jiangxi
a. 江西波阳县滨田水库东侧叠加褶皱; b. 三期叠加褶皱干扰型式立体图(据文献[33])

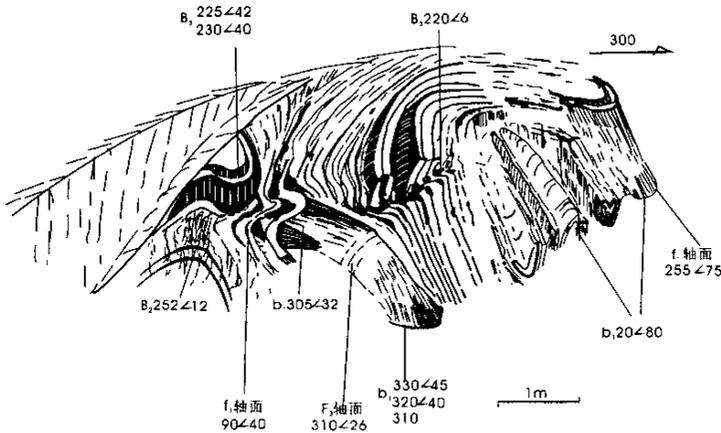


图4 赣东北田坂北三期褶皱叠加素描图

Fig. 4 Three generations of superimposed folds in northern Tianban, northeastern Jiangxi

1.4 平面组合特征及露头型式

叠加褶皱的平面组合特征与露头型式随位置而变化,总体平面叠加形态特征以不规则的穹、盆型为主。尤以赣东北(图2)太平桥之北西呈NE向展布的老董家穹状背形、虎峰山盆状向形最为典型。前者由计林组第三段外倾组成穹状背形;后者则以安乐林组第一段上亚段巨厚层变质细砂岩组成不规则的盆状向形。在穹、盆区及其附近伴随有露头尺度的叠加褶皱,其表现型式主要有两种:典型实例之一是在太平桥一带安乐林组第一段下亚段中发育有极为典型的三期叠加褶皱(图3)。在大约2.5m×8m的断面露头上,早期褶皱枢纽向310°~330°方向倾伏,倾伏角在40°左右;第二期则为近EW向叠置其上,其枢纽大致以12°角向南西252°方向缓倾伏;第三期露头褶皱枢纽总体以6°~42°角向220°~230°方向倾伏,晚期褶皱作用

导致早期褶皱枢纽明显重褶,构成典型的横跨叠加。另一露头尺度的横跨叠加褶皱位于前者之北西约500m处,为陡倾斜的倾竖褶皱,其褶皱枢纽向东倾伏,倾伏角达80°以上。这类倾竖褶皱通常认为是中性褶皱叠加直立水平褶皱的结果,中性褶皱轴面垂直于早期褶皱轴面,叠加后枢纽、轴面均为直立。显然,这种褶皱型式不可能是原始水平产状的岩层经历一次褶皱作用就可以产生的,而可能是在早期开阔直立褶皱的基础上横跨叠加所成。

赣东北南部叠加褶皱的平面组合形态主要表现为新月形或弓(箭)形,在构造纲要图上(图2),早期褶皱枢纽弯转曲折,显现出复杂的褶皱形态,与北区相比,后期脆性断裂的叠置显得更为复杂。典型露头尺度的叠加褶皱分布在滨田水库堤坝东侧,以早期褶皱轴面的再褶皱显示其褶皱叠加。根据粒序判别,从下至上分别为早期背、向斜,其褶皱

枢纽以 55° 角向南西 215° 陡倾,其轴面重褶枢纽则以 86° 角向南南东 155° 方向陡倾,与前者呈斜跨叠置。在重褶背斜两翼并配置有晚期轴面劈理。在与之近垂直的另一露头面上发育有以 25° 角向 72° 方向缓倾的第二期近似尖楞状褶皱,其立体组合形态与蔡学林等提出的模型极为相似^[33](图4)。

综上所述,由北向南,叠加褶皱型式由共轴叠加、横跨叠加变为斜跨叠加。由不规则穹盆相间型向新月型等过渡。露头尺度上以两期褶皱叠加为主,第三期褶皱相对较少,变形较弱。制图尺度上第三期褶皱主要表现为第二期褶皱枢纽(局部)出现重褶。这就说明露头尺度到制图尺度均以两期褶皱叠加为主,第三期褶皱作用较弱或属局部行为(?)。如果从高级构造剖析,赣东北北部以安乐林组一段下亚段、计林组上部等新地层出露为特征,横跨叠加构成四周被穹隆或老地层所环绕的构造盆地。盆地之东(据景德镇市幅 $1:25$ 万资料显示)为以横涌组为核两翼依次为计林组、安乐林组组成的近SN向延伸的长垣状穹隆构造;其北、南以及向西均为横涌组、计林组所环绕。根据 $1:5$ 万和 $1:25$ 万区域地质调查结果,赣北前震旦纪构造格局不是一个简单的近EW向复式褶皱,相反不规则的穹、盆间的构造样式可能更接近客观事实。

2 岩石变质、变形环境

双桥山群以变质砂岩、板岩为主,变质程度较低。从赣西北向南或向东,由板岩渐变为千枚状板岩、千枚岩,仅在南部与东南部^[24]即邻近拼贴带出现黑云母,总体显现由北向南及南东变质程度明显加深的特征。

根据X射线衍射分析,岩石中所含粒状矿物与层状硅酸盐矿物组合基本上是稳定的,标志着具有大致相同的成生环境。但有两点值得注意,其一是出现高岭石,说明温度在 $150\sim 200^\circ\text{C}$ 之间,大于此值则转换成其他矿物^[34]。另一点是西北部所有样品中均不出现黑云母,说明最高温度不超过 400°C ^[35]。由此提供的信息表明板岩形成的温度在 $150\sim 400^\circ\text{C}$ 之间,由北向南或南东呈递增趋势。

双桥山群板岩中的伊利石结晶度指数(Hb_0)介于 $198\sim 100$ 之间,平均值 130.1 ,除去受岩体影响较大的样品,得到其平均值为 137.0 ,其中最南

部明显较低($100\sim 123$),反映出南部变质程度相对较深,这与区域地质情况一致,可能与九岭岩体侵入及板缘拼贴过程中叠加(热)变质作用有关。但总体介于浅层变质作用与浅变质作用之间^[36],属极低级变质作用至低级变质作用的过渡类型,变质相相当于葡萄石—绿纤石相到绿片岩相。

伊利石的另一重要参数 b_0 值处在 $9.006\sim 9.042$ 之间,标志着压力条件的变化较大。当然这种较大的 b_0 值变化,也可能是由于碎屑白云母的存在而引起。从 b_0 晶格参数平均值(9.026)以及累积频率曲线综合分析,属中压变质范围。

3 变形时序与时代

自赣西北地区识别出近EW向褶皱叠加近SN向褶皱以来^[16],引起了地学界的高度重视。迄今为止,这两(三)期构造的存在已趋共识。但在成生时序与时代上存在着不同的认识。

EW向构造是包括褶皱、劈理、断裂在内并在同一构造应力场作用下形成的一个构造系统,如果早于SN向褶皱系统,则在近SN向褶皱作用过程中,早已存在的EW向断裂面与劈理应随之褶皱变形,但迄今为止尚未发现其踪迹。此外,在赣西北,EW向次级褶皱的枢纽呈有规律的EW向分布,根据Ghosh, S. k.,等的研究,同样指示早期SN向褶皱枢纽^[33]。特别是图3、4所示两处极为典型的三期叠加褶皱露头的发现,相对变形时序已无争议。

成生时代问题,考虑到以南华纪莲沱组为底的盖层角度不整合于基底之上,盖层与基底中的构造样式不同,特别是与基底近EW向褶皱伴生的古断裂的识别等地质上的确凿证据,以及侵位于中、晚期复式褶皱核部的游城花岗岩体、山口—漫江岩体等的测年信息,证明基底中三个不同世代的构造成生于前震旦纪,构造活动始于 $1\ 000\text{ Ma}$ 之前,终止于 800 Ma 左右。

4 大陆动力学分析

就其变形机制而言,这一变形过程可能是华夏板块与扬子板块呈剪切式拼贴的过程^[37,38]。华夏板

块从北东向南西向扬子板块碰撞,随着北东边界逐渐拼合,导致板内近 EW 向压应力场,形成了相应的早期近 SN 向褶皱。并伴随岩浆侵位。在应力向西传递过程中逐渐减弱,这可能就是南北向褶皱变形东强西弱的主要原因。游城花岗岩体的侵位代表 NE 向褶皱变形即将结束,由此推断北东边界的拼合大致在 1 000 Ma 之前完成。

随后代之以南北边界的拼合,在强大的由南向北的压应力场的作用下形成了包括褶皱作用、断裂作用、岩浆活动在内的 EW 向构造系统。叠置在 D₁ 褶皱之上,并由此奠定了以东部三次叠加、西部二次叠加为特征的前震旦纪基本构造格局。如果将山口—漫江岩体作为南边界拼贴终止的产物,则南边界的整个拼贴过程至少经历了近 200 Ma。由此可以推测两板块的拼贴终止于 800 Ma 左右。

根据岩石变质变形提供的信息,从板块碰撞开始到拼贴结束,扬子板块始终处于中—低温、中—低压与极低变质作用的环境下,并且随边界条件的变化而改变外力的大小及作用方向,这就是以递进变形的形式产生多期褶皱叠加并呈有规律变化的根本原因。

综上所述,扬子板块内不仅存在前震旦纪的物质记录,而且在前震旦纪已形成三个世代的叠加褶皱及其同构造期岩浆侵位,但没有蛇绿岩带或构造岩带。板内与碰撞造山带构成与格林威尔期相当的地质事件群,共同揭示了华夏板块与扬子板块呈剪切式拼贴的大陆动力学作用过程。

赣北板内前震旦纪多期叠加褶皱的识别与同构造期热液事件的厘定,对客观认识华南构造演化历史,以及分析从板缘碰撞到板内大陆动力学作用与构造应力传递过程具有重要意义。正如有些学者指出的那样,涉及 Rodinia 超大陆再造及中国古地块位置等问题的焦点在于查明新元古代的地质历史^[39,40],在赣北地区新的显生宙造山带内筛分出新元古代早期造山运动的遗迹,无疑对研究中国大陆地块的构造配置与古地理再造提供了重要依据。

参考文献:

[1]许靖华.薄壳板块构造模式与冲撞型造山运动[J].中国科学,1980,(11):1081—1089.
[2]许靖华,孙炳彦,李继亮.是华南造山带而不是华南地台[J].中国科学,1987(10):1107—1115.

[3]许靖华.中国南方大地构造的几个问题[J].地质科技情报,1987,6(2):13—17.
[4]Hsu K,Sun S,Li J,et al.Mesozoic overthrust tectonics in South China[J].Geology,1998,(16):418—421.
[5]Hsu K.Reply to Rowley,et al,(1989) on “Mesozoic overthrust tectonics in South China”[J].Geology,1989,(17):672—673.
[6]Gupta S.Comments on “Mesozoic overthrust tectonics in South China”[J].Geology,1989,(17):669—671.
[7]赵崇贺,何科昭,莫宣学,等.赣东北深断裂带蛇绿混杂岩中含晚古生代放射虫硅质岩的发现及其意义[J].科学通报,1995,40(23):2161—2163.
[8]周正国,乐昌硕,何科昭,等.赣东北登山群中新发现几丁虫化石及其意义[J].科学通报,1999,43(4):435—435.
[9]徐树桐,陈冠宝,陶正,等.皖南变质岩中古生物化石及其大地构造意义[J].中国科学(B辑),1993,23(6):652—658.
[10]何科昭,赵崇贺,乐昌硕,等.“板溪群”构造属性的再思考[J].地学前缘,1999,6(4):353—362.
[11]李曰俊,郝杰,鲁刚毅.论板溪群与板溪蛇绿混杂岩[J].地质论评,1994,40(2):97—105.
[12]唐晓珊,黄建中,何开善.论湖南板溪群[J].中国区域地质,1994,(3):274—277.
[13]李江海,穆剑.我国境内格林威尔期造山带的存在及其对元代末期超大陆再造的制约[J].地质科学,1999,34(3):259—272.
[14]张海洋,孙大中,朱炳泉,等.赣北元古代变质沉积岩的铅钨同位素特征[J].中国区域地质,2000,19(1):66—71.
[15]谢国刚.论江西双桥山群的底界问题[J].中国区域地质,1997,16(4):410—414.
[16]章泽军,曾佐勋,张雄华.论赣西北中元古界双桥山群构造样式地层序列及地质意义[J].中国区域地质,1998,17(4):365—370.
[17]章泽军,张雄华,易顺华.赣西北幕阜山—九岭山一带前震旦纪构造变形[J].高校地质学报,2003,9(1):81—88.
[18]马长信,项新葵.赣东北前寒武纪变地层钨模式年龄初步研究[J].地质科学,1993,(2),145—150.
[19]刘海臣,朱炳泉.湘西板溪群及冷家溪群的时代研究[J].科学通报,1994,39(2):148—150.
[20]胡雄健,许金坤,童朝旭,等.浙西南 19 亿年花岗闪长岩的地质特征及发现意义[J].地质论评,1993,39(6),557—563.
[21]陈思本,徐祖丰.赣东北前震旦纪变质火山岩的同位素年龄及其地质意义[J].中国区域地质,1998,17(2),187—188.
[22]刘细元.江西九岭中元代地层变形变质特征及其演化序列[J].前寒武纪研究进展,1997,(2):58—65.

- [23] 马长信. 赣东北古元古宙障公山群的钨铍同位素年龄新成果及其地质意义[J]. 科学通报, 1991, 36(19): 1518—1519.
- [24] 刘柏根, 郑光财, 陈时森, 等. 浙西前寒武纪火山岩中锆石 U—Pb 同位素定年及其含义[J]. 科学通报, 1995, 40(21): 2015—2016.
- [25] 程海, 胡世玲, 唐朝辉. 赣东北铁砂街变质混杂岩块的同位素年代[J]. 中国区域地质, 1991, 10(2): 151—154.
- [26] 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.
- [27] Li Z X, Zhang L, Powell C MCA. South China in Rodinia: part of the missing link between Australia-East Antarctica and Laurentia? [J]. *Geology*, 1995, 5: 407—410.
- [28] Gupta S. Comments on “Mesozoic overthrust tectonics in South China” [J]. *Geology*, 1989, (17): 669—671.
- [29] Rowley et al. Comments on “Mesozoic overthrust tectonics in South China” [J]. *Geology*, 1989, (17): 384—386.
- [30] Rodgers J. Comments on “Mesozoic overthrust tectonics in South China” [J]. *Geology*, 1989, (17): 671—672.
- [31] 宋鸿林, 朱忠, 颜丹平. 赣北萍乐拗陷是对冲构造还是巨型构造窗? [J]. 地质通报, 2003, 22(2): 124—129.
- [32] Ggish S K, Mandal N, Khan D, et al. Modes of superposed buckling in single layers controlled by initial tightness of early folds [J]. *Journal of Structural Geology*, 1992, 14(4): 381—394.
- [33] 傅昭仁, 蔡学林. 变质岩区构造地质学[M]. 北京: 地质出版社, 1986. 151.
- [34] 朱光, 徐嘉伟, Fletcher C J N, 等. 应用 X 射线衍射分析胶北蓬莱群板岩中的变质作用[J]. 地质与勘探, 1994, 30(2): 42—49.
- [35] Gutierrez-Alonso G, Nieto F. White-mica “crystallinity”, finite strain and cleavage development across a large Variscan structure [J]. *New Spain J of the Geological Society, Londo*, 1996, (8): 287—299.
- [36] 索书田, 游振东, 周汉文. 极低级变质作用和极低级变质带综述[J]. 地质科技情报, 1995, 14(1): 1—8.
- [37] 徐志刚. 华南晚前寒武纪剪刀式开合构造及其动力学[J]. 地质学报, 1995, 69(4): 285—295.
- [38] 章泽军, 张志, 秦松贤, 等. 赣东北前震旦纪陆内叠加褶皱[J]. 地质学报, 2003.
- [39] 郭进京, 张国伟, 陆松年, 等. 中国新元古代大陆拼合与 Rodinia 超大陆[J]. 高校地质学报, 1999, (2): 148—156.
- [40] 陆松年. 新元古时期 Rodinia 超大陆研究进展述评[J]. 地质论评, 1998, 44(5): 489—495.

Features of the pre-Sinian structural deformation in North Jiangxi and its dynamic significance

ZHANG Zhe-jun, ZHAO Wen-xia, QIN Song-xian, ZHANG Zhi, CAI Xiong-fei, GU Yang-sheng
(Faculty of Earth Sciences, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: There exist three generations of superimposed folds extending along the longitudinal, latitudinal and NNW-NNE direction in northern Jiangxi Province. They were formed one after another during the pre-Sinian period and resulted from intraplate deformation related to slow collision between the Yangtze plate with the Cathaysia plate during the Grenville orogenic process.

Key words: Yangtze plate; pre-Sinian; superimposed fold; structural deformation