

赣中变质岩带的组成及构造变质变形特征

胡恭任^{1,2}, 刘丛强¹, 章邦桐³, 于瑞莲²

(1. 中国科学院地球化学研究所, 贵州 贵阳 550002; 2. 华侨大学环境保护设计研究所, 福建 泉州 362011; 3. 南京大学地球科学系, 江苏 南京 210093)

摘要: 赣中变质岩带不是简单的一套震旦纪地层, 而是由结晶基底中元古界中深变质岩系(斜长角闪岩的 Sm-Nd 全岩等时线年龄为 1113 ± 49 Ma)和褶皱基底变质较浅的震旦系组成。两者之间以具热流体参与的混合岩化、韧性剪切带和递进变质三位一体组成的动热变质带接触。结晶基底经历了 4 期构造变质变形的叠加改造, 每期构造变形都在变质岩石构造单元内留下各种变形形迹, 变质作用表现为时间上的递进和空间上的叠加演化系列, 是一套以众多的不平衡结构和多相共生混存的矿物组合, 热变质带为一套动热变质塑性变形带, 空间上依次形成绢云母—绿泥石带、黑云母带、石榴石带、十字石带以及夕线石带。

关键词: 结晶基底; 褶皱基底; 动热变质带; 构造变质变形; 赣中变质岩带

中图分类号: P588.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3967(2000)04-0375-07

赣中变质岩带处于扬子地块、华夏地块与华南造山褶皱带的接合部位, 构成相山铀矿田、盛源铀矿田和 90 号铀矿床的火山岩基底。其北与广丰—萍乡深断裂带(江绍断裂带的西延部分)相接, 西以遂川—乐安断裂为界, 东以邵武—河源断裂为界(图 1)。研究该变质岩带的构造变形和变质作用期次对探讨控制赣中地区铀等金属成矿的变质核杂岩构造和深部探寻大型铀矿床的远景, 以及华南大地构造单元的划分及构造演化具有重要意义。

该变质岩带由于频繁的地质事件所造成的多期复杂的变质变形和岩浆活动以及沉积盖层的覆盖等诸因素影响, 再加上长期以来变质岩区工作薄弱、区域对比进展缓慢, 并且缺乏攻深的地质理论和方法, 因而长期以来赣中变质岩带以笼统的震旦系处置。江西省地矿局^[1]、董申葆^[2]、谢奕克^[3]将变质岩系划归震旦系老虎塘组(Z_2)。赵永祥^[4]将相山变质岩归属于震旦系下坊组(Z_2^1)。华东地质局 261 大队^[5]、俞时清^[6]、徐达忠等^[7]、沈锋^[8]则笼统地将相山地区变质岩归属于震旦系。笔者通过引进攻深的地质理论和方法, 如“多期变质变形、叠加褶皱”、“韧性剪切带”、变形相与变形序列以及“伸展构造”等, 加上不同方法的同位素年代学(Sm-Nd, Rb-Sr, K-Ar), 以及运用数学地质方法进行元素地质地球化学全面对比, 对本区变质岩带进行了深入的研究: 赣中变质岩带不是简单的一套震旦纪地层, 而是由结晶基底为中元古界中深变质岩系和经加里东期构造—热作用形成的不同重熔程度的混合岩、花岗岩和褶皱基底为变质

收稿日期: 1999-11-20; 修订日期: 2000-03-08

基金项目: 国家杰出青年基金资助项目(49625304)和华侨大学科研启动资金联合资助项目。

作者简介: 胡恭任(1966-06), 男(汉族), 江西赣县人, 助理研究员, 博士, 从事同位素地球化学研究工作。 <http://www.cnki.net>

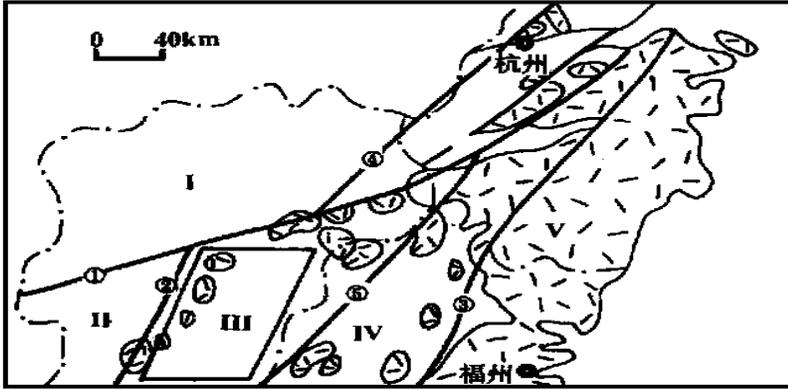


图1 赣中构造分区示意图

Fig. 1 Central Jiangxi structural division

I—扬子地块；II—华南加里东造山带；III—赣中变质带所处位置；IV—华夏地块；V—中生代火山岩；①—广丰—萍乡深断裂带；②—遂川—乐安断裂带；③—邵武—河源断裂带；④—浙、皖、赣断裂带；⑤—丽水—大埔断裂带

较浅的震旦系组成，两者之间为具热流体参与的韧性剪切带接触。本文着重从构造形迹分析入手，从建造与改造、变形与变质不同方面来阐述其构造变形变质特征。

1 中深变质岩系

区域上主要分布于鹰潭—南城断裂以西，过南城岳口呈东西向经临川茅排、宜黄黎溪转到

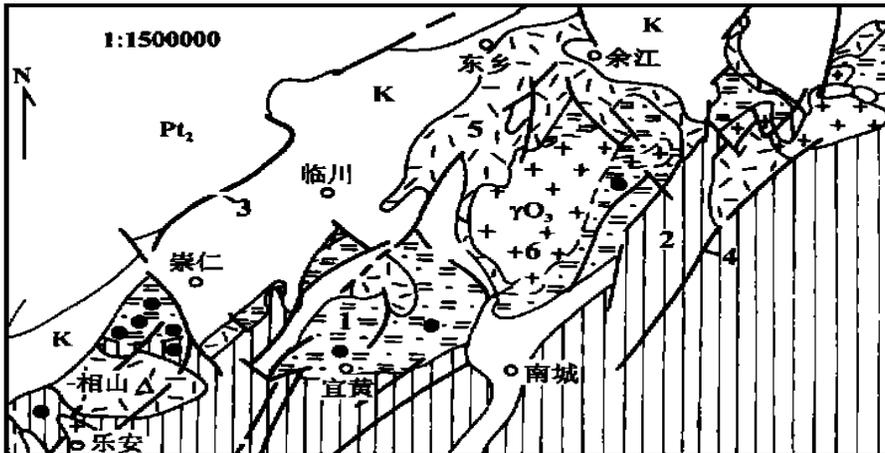


图2 赣中变质岩带的分布

Fig. 2 Distribution of the central Jiangxi metamorphic zone

1—结晶基底；2—褶皱基底；3—地质界线；4—断裂；5—中生代火山岩；6—加里东期花岗岩；K—白垩纪红层；Pt₂—扬子地块中元古代双桥山群；●—取样位置

相山矿田北部贯下一戴家村一线以北(图2)，由斜长角闪岩、(斜长)云母变粒岩、石榴云母片

岩、十字石榴云母片岩、云母石英片岩、夕线石云母片岩、堇青十字云母片岩、石榴角闪片岩等组成的一套中、深变质岩系, 地层已遭受角闪岩相区域热流变质作用的改造, 大部分已转为动热变质带, 且岩石中普遍存在混合岩化成因的长英质脉体、石英脉体, 表明已近于达到深熔作用的程度, 局部形成原地至半原地深熔花岗岩。岩系具多期变质和多次变形。根据相山北部马口、贯下一带出露的斜长角闪岩(原岩为玄武质火山岩)获得 Sm-Nd 全岩等时线年龄(1 113 ± 49)Ma, 代表玄武质火山岩的形成年龄, 表明本套中深变质岩系的时代应属中元古代。

1.1 构造变形特征

前人认为本套中深变质岩系组成是一大单斜构造, 岩系中普遍发育的各种面理(片麻理、片理、折劈理、破劈理等)被认为是顺层面理, 岩系内部的构造分异层被当作原始成分层理。本次研究认为本套岩系遭受过多期构造叠加置换, 每一期构造变形都在岩系中留下各种复杂构造形迹, 共经历了 4 期构造变形的叠加改造(表 1)。

表 1 结晶基底变形构造世代与样式

Table 1 Generations of deformational structures of the crystalline basement

变形构造世代	褶皱	面理	线理	断裂构造
D ₁		S ₁ : 残余面理 // S ₀		
D ₂	F ₂ : 紧闭同斜褶皱、无根褶皱	S ₂ : 轴面透入性片理 片麻理	L ₂ : 矿物生长线理 夕线石、角闪石定向线理	小型韧性剪切带
D ₃	F ₃ : 紧闭平卧褶皱	S ₃ : 轴面片理、滑劈理	L ₃ : 拉伸线理, S ₂ 与 S ₃ 交线 白云母生长线理	中等规模韧性剪切带
D ₄	F ₄ : 开阔褶皱、膝折	S ₄ : 折劈理、轴面破劈理	L ₄ : S ₂ , S ₃ 与 S ₄ 交线、褶皱枢纽	折劈构造、膝折构造

第一期构造变形(D₁)是该地层中所能识别的最早变形面和原始岩性层理(S₀), 由于后期多次构造运动的叠加改造和强烈的构造置换, 大部分已破坏殆尽(包括 D₁ 变形所留下的构造), 目前也无法恢复 D₁ 变形所形成的褶皱样式、线理等特征, 仅在一些刚性的变斑晶内, D₁ 变形所形成的 S₁ 面理才得以保存。石榴石、十字石、黑云母变斑晶内含有细小的石英、斜长石等矿物包体, 由这些包体定向排列所形成的片理代表早期面理 S₁, S₁ 片理又再次褶曲而与变斑晶外基质片理 S₂ 不相连而斜交(图版 I-1)。组成 S₁ 片理的矿物颗粒(如石英)明显小于基质中同种矿物颗粒, 并且组成 S₁ 矿物颗粒(石英、长石)接触关系特征为粒状三联点(图版 I-2), 是静态应力下矿物结晶的产物, 说明 D₁ 变形发生在主期变质作用的早期阶段。

第二期变形(D₂)表现为高塑性的紧闭同斜褶皱和区域性轴面面理构造, 是该变质岩系所遭受的最重要最强烈的一次构造变形, 变质岩中普遍发育的片理构造主要是由这次变形所形成的。在 D₂ 变形期间, 变质作用可达角闪岩相, 岩石处于高塑性变形状态, 在强应力作用下形成一系列紧闭同斜褶皱, 沿着 F₂ 轴面发育透入性片理 S₂, 片理平行于岩性层或岩性条带, 常表现为黑云母沿片理面结晶粗大, 且发育夕线石、十字石等变质矿物组成的矿物生长线理(图版 I-3)。野外可见十字石、石榴石呈板状、条带状产出, 为变质矿物沿轴面方位平行排列所

致。镜下常见长英质矿物与片(柱)状矿物分别聚类成层,彼此接触面平直截然,并且发育小型韧性剪切带,在显微镜下,石英表现为异常消光、波状消光、变形纹、亚颗粒、核幔构造和动态重结晶现象,动态重结晶石英接触关系为缝合线状及矩形直角板状(图版 I—3),明显区别于 D₁ 期矿物成三联点接触,反映石英在强塑性条件下的变形。长石多表现为脆性变形,出现显微破裂、卵形形态(图版 I—4),有时为消光异常、双晶扭曲、旋转斑等塑性变形。这反映了本期变形达石英变形相—石英长石变形相。相山北部高庄的十字石榴云母片岩里,由长英质脉体构成的片内无根褶皱(F₂),具紧闭同斜褶皱特点,转折端加厚,两翼拉薄甚至拉断,形成无根形态。转折端部位 S₂ 片理与长英质脉斜交,其他部位两者平行一致。在余江马荃、相山北部贯下,斜长角闪岩成群出现,其褶皱转折端的残留,也反映了 F₂ 褶皱的存在。主要峰期变质矿物夕线石大多为矿物生长线理(L₂)及石榴石变斑晶雪球状、“S”型构造特征,说明 D₂ 变形期基本和主期变质作用的峰期阶段同时发生。

第三期变形(D₃)与 D₂ 相比,为一次较弱的塑性变形,变形面主要为 S₂ 片理面、褶曲构造的轴面及构造成分层。十字石塑性拉长, S₂ 片理卷入后褶皱,在高庄可见十字石、黑云母条带也发生后褶皱,后褶皱轴面发育白云母等组成 S₃ 片理(图版 I—5)。镜下见有石榴石、黑云母等均受到 D₃ 变形的改造,构成 L₂ 线理的十字石受到变形改造形成 F₃ 褶皱。方解石脉发生 F₃ 褶皱,沿褶皱轴面发育白云母、绿泥石等矿物组成 S₃ 片理,片理面上出现白云母等矿物拉伸线理、擦痕线理。说明其形成层次较前期浅,水的作用较明显,变形已由刚性向脆性趋近。

第四期变形(D₄)表现为一种浅层次的脆性变形特征,构造线方向为北东向,以 S₃ 为变形面形成的一种折劈构造(属微褶型)组成 S₄ 面理。S₄ 面理构造主要为一些面破劈理、膝折带轴面(图版 I—6)。在薄片,可见柱状夕线石的横张节理(图版 I—7),也见组成 S₃ 片理的白云母发生褶曲,其轴面产状为北东 45°,显示 D₄ 变形特点。D₄ 期仅局部地段受热扰动,出现类似退变质的绿泥石和白云母,主要变形构造以不连续的破劈理和膝折带为主,随着韧性变形作用的结束,预示着变质基底处于抬升作用的过程。

1.2 变质作用序列与岩石学特征

本套变质岩系经历了复杂的变质变形作用,与变形序列特征类似,即表现为时间上的递进和空间上的叠加演化系列(表 2)。变质岩系是一套以众多的不平衡结构和多相共生混存的矿物组合为特征,根据标志性矿物和矿物组合,划分出 3 期变质作用。

表 2 结晶基底变质变形特征

Table 2 Features of metamorphism-deformation of crystalline basement

变形阶段	变质阶段	矿物组合类型	岩浆活动及混合岩化	变质相	变质作用类型
燕山期 印支期	D ₄ D ₃	M ₃ 石英、绢云母、绿泥石	高侵位、火山活动	低绿片岩相	动压
加里东期	D ₂	M ₂ 石英、十字石、黑云母、斜长石、石榴石、夕线石、白云母、堇青石	局部重熔、变质分异混合岩化	角闪岩相	动热
晋宁期	D ₁	M ₁ 石英、白云母、黑云母、角闪石、斜长石、石榴石、十字石	无	低角闪岩相	动压

第一变质期(M_1)与 D_1 期变形作用相对应, 相当于基底结晶岩系的变质期。从野外和镜下观察所见的岩石类型主要为斜长角闪岩、角闪片岩、各种片岩、变粒岩。变粒岩中斜长石含量约 30%, 矿物之间接触关系为粒状三联点(即交角 120°)。其特点是常以包体形式残存于后期的变斑晶中, 同 D_1 期生长的黑云母、白云母、石英定向排列, 构成早期片理 S_1 , S_1 仅残留于变斑晶内, 属残留变质相。其中的斜长角闪岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(726.7 \pm 1.1) \text{Ma}$, K-Ar 年龄 $(713 \pm 7) \text{Ma}$; (十字)石榴云母片岩全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 $(719.7 \pm 0.1) \text{Ma}$, 相当于晋宁晚期。

第二期变质作用(M_2)与 D_2 期变形作用相对应, 为区内主期变质作用, 叠加于前期之上, 温度为变质作用的主要因素, 变质以递进变质为特征, 形成绿片岩相—高绿片岩相—角闪岩相的递进变质带, 局部地段岩石由于强烈的变形超变质作用出现变质分异流体, 形成混合岩化。同 M_2 期生长的石榴石、十字石、黑云母等矿物变斑晶大小可达 0.5 cm。 D_2 期的强烈剪切韧性变形伴随同 D_2 期生长的黑云母、长石、石英以及十字石、夕线石等矿物定向排列, 形成片理 S_2 。 M_2 期出现递增变质带, 即下部为混合岩带, 向上依次为夕线石带、十字石带、石榴石带、黑云母带。镜下见夕线石交代黑云母(图版 I—8), 石榴石内有黑云母和石英等矿物包体, 说明 M_2 变质前曾发生过绿片岩相变质。本区的高峰期变质相为角闪岩相, 变质作用属中压区域动力热流型, 其中由含十字石、石榴石、黑云母、白云母长英质变质分异脉体, 混合岩化变粒岩、片麻状混合岩组成的 Rb-Sr 全岩—矿物等时线年龄为 $(403.1 \pm 6.4) \text{Ma}$, 白云母 K-Ar 年龄为 $(425.5 \pm 4.3) \text{Ma}$, 相当于加里东期。

第三期变质作用(M_3)与 D_3 期变形作用相对应, 主要为退变质或热变质。区域上表现为低温矿物组合替代高温矿物组合的退变质作用, 薄片可见白云母交代夕线石, 绢云母交代堇青石、石英中有夕线石、黑云母等矿物包体, 石榴石、黑云母、十字石退变成绿泥石、石英及一些铁质而呈假像。代表性岩石为绢云母石英千糜岩、黑云母变斑状千枚岩, 矿物组合为石英+绢云母(白云母)+绿泥石(绢云母石英千糜岩的 K-Ar 年龄为 $148.1 \pm 1.5 \text{Ma}$)。变质作用发生的空间: 一是沿韧性剪切带; 另一在弱变形域沿破劈理、裂隙、矿物粒间和粒缘, 变质程度仅为低绿片岩相。 D_4 变形表现为对早期构造变形和变质矿物的叠加改造, 变形表现脆性, 而缺少同期变质矿物。

本套岩系每期构造变质变形都反映区域变质变形事件, 属一定的构造运动产物。 M_1D_1 为晋宁运动的产物, 变质程度为低角闪岩相, 变斑晶中包裹体痕迹揭示了这期变质变形的特点; M_2D_2 期为加里东运动的产物, 是本区遭受最强烈的一次变质变形作用, 变质程度达高角闪岩相, 并伴随递进变质、混合岩化、韧性剪切三位一体的构造热变质带。 M_3D_3 期为印支运动的产物, 表现为退变质作用, 出现低绿片岩相矿物组合, 变形表现为一种由塑性向脆性的过渡。 M_4D_4 期为燕山运动的产物, 表现为对早期变质变形的叠加与改造, 变形构造表现为脆性, 标志着大规模韧性剪切的结束, 暗示着基底已处于上升和剥蚀之中。这种反映自早到晚, 发生构造变形的构造层次或变形深度变浅的特点, 预示着基底的抬升, 可能与伸展构造产生的基底滑脱有关。

2 动热变质带

动热变质带是由褶皱基底发生前进变质变形作用与结晶基底遭受韧性剪切变形作用、变

质作用和重熔混合岩化作用共同改造作用的结果,空间上依次形成黑云母带、黑云母—石榴石带、石榴石—十字石带以及夕线石带,相山矿田北部云际—贯下一高庄剖面展示了这一完整的动热变质带。矿田花岗斑岩为界以北至高庄一带,是以板岩、千枚岩为基础岩系经递进变质,由南往北逐渐加强,形成黑云母变斑晶千枚岩、条带状黑云母千枚岩、黑云母角岩、黑云母化千枚岩、石榴黑云片岩、十字石榴云母片岩,过高庄后,递变为十字石、夕线石带,此带中的石榴石、十字石明显增大,大多可达 0.5 cm 以上,它是以变粒岩、片岩为基础的热变质带。上述 4 个带矿物夕线石—十字石—石榴石—黑云母逐渐取代现象清晰,从黑云母的书斜构造到石榴石、十字石、夕线石的旋转构造,再从石英晶体的透镜化、藕节状以及长石晶体的细粒化、波状消光、动态重结晶和黑云母解理的挠曲等特征,反映韧性剪切应力场的存在。动态重结晶的石英成细长条以直角矩形接触而区别于未变形的变粒岩中石英(以三联点接触),反映是在高应力下的亚稳态结构。

3 浅变质岩系

主要分布于鹰潭—金溪断裂带之南东部,过岳口经茅排、梨溪、宜黄、相山矿田中部一线以南。岩石类型主要为硅铁岩层、硅质岩、含炭硅质岩、粉砂质板岩、炭质板岩、千枚岩、变质砂岩,以震旦系中下部的硅铁建造、顶部的硅质岩层和寒武系底部的含炭层为区域可对比的标志层,相当于区域上的震旦—寒武纪有序地层,变质程度仅为低绿片岩相,主要变质矿物为绢云母和绿泥石,有的地段由于后期热液的作用而叠加黑云母。发育一些扭折、宽缓褶皱及板劈理、破劈理等脆性变形构造。

据野外资料推测,本套岩系存在 3 期褶皱:第一期褶皱是依据层、片关系推断的,地层中多处可见顺层发育的板劈理,它反映早期存在紧密褶皱。千枚岩中发育的窗棂构造(望仙一带)及杆状石英(乐安古寺),可能代表这一期褶皱的枢纽方位。第二期褶皱为膝折构造,膝折面理为连续、非透入性的间隔劈理。第三期褶皱是脆性变形阶段挤压机制下形成的宽缓开阔褶皱,是基底抬升后的变形产物,表现为破劈理。

本套岩系变质变形发育浅层次,大部分达不到石英变形相。

结晶基底与褶皱基底在变质变形作用、混合岩化作用及构造特点上都存在明显的差异。结晶基底(中深变质岩系)是一套中元古代结晶岩系,而褶皱基底(浅变质岩系)为一套震旦系褶皱基底岩系,两者在形成时间上有很长的间断,不可能是一简单的韧性剪切接触或连续过渡关系,很可能原来为角度不整合接触,被后期伸展作用造成沿界面的大规模水平剪切、热流升高、基底滑脱所致。

野外工作得到了核工业华东地质局 261 大队总工办和华东地质学院科研处的大力支持,在此一并致谢。

参考文献:

- [1] 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. 630—635.
- [2] 董申保主编. 中国变质作用及其与地壳演化关系[M]. 北京:地质出版社, 1986. 170—175.
- [3] 谢奕克. 中国东南岩石圈板块边界变质带[M]. 北京:地质出版社, 1989. 156—166.
- [4] 赵永祥. 丰城洛市—铁路头地区晚元古代早期火山活动及沉积建造特征[J]. 华东地质学院学报, 1993, 16(4): 364—

- [5] 华东地质局 261 大队地质科. 一个破火山口地质及铀矿化特征[J]. 放射性地质, 1983, (6): 341—349.
- [6] 俞时清. 关于火山岩型铀矿床成矿规律中一些问题的讨论[J]. 铀矿地质, 1993, 9(2): 116—123.
- [7] 徐达忠, 饶明辉. 我国东南缘前寒武纪基底性质及演化的几个问题[J]. 华东地质学院学报, 1993, 16(4): 334—348.
- [8] 沈锋. 华南相山铀矿田成矿条件及发展前景[J]. 铀矿地质, 1995, 11(5): 291—298.

图版 I 说明

1. 石榴石变斑晶内包体定向排列组成 S_1 片理与外基质片理 S_2 斜交, (+) 10×4 .
2. 黑云斜长变粒岩的静态重结晶矿物呈三联点接触, (+) 10×4 .
3. 矿物生长线理, (+) 10×4 .
4. 长石呈显微裂隙、卵形形态, (+) 10×4 .
5. 黑云母条带发生褶皱, 褶皱轴面发育, 白云母等组成 S_3 片理, (+) 10×4 .
6. 黑云母膝折, (+) 10×4 .
7. 夕线石横张节理, (-) 10×4 .
8. 夕线石交代黑云母, (-) 10×4 .

Composition and structural metamorphism-deformation features of the central Jiangxi metamorphic zone

HU Gong-ren^{1, 2}, LIU Cong-qiang¹, ZHANG Bang-tong³, YU Rui-lian²

(1. *Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002, China;*

2. *Environmental Protection Design Institute, Overseas Chinese University, Quanzhou 362011, Fujian,*

China; 3. Department of Earth Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: The central Jiangxi metamorphic zone is not a simple suite of Sinian strata but composed of a Mesoproterozoic medium- and high-grade metamorphic series (the whole-rock Sm-Nd isochron age of amphibolite is $1\ 113 \pm 49$ Ma) as the crystalline basement and the low-grade metamorphic Sinian as the folded basement. Between them is a dynamo-thermal contact metamorphic zone composed of migmatization, ductile shear zone and progressive metamorphism, which occurred in the presence of hydrothermal fluids. The crystalline basement underwent four phases of reworking by structural metamorphism-deformation. The structural deformation of each phase left various deformation markings. The metamorphism is manifested by an evolutionary series which was progressive in time and overprinted in space and is marked by a mineral assemblage with many disequilibrium textures and many coexisting minerals. The thermal metamorphic zone is a zone of dynamo-thermal metamorphism-plastic deformation, and in space there appear successively the sericite-chloride zone, biotite zone, garnet zone, staurolite zone and sillimanite zone.

Key words: crystalline basement; folded basement; dynamo-thermal metamorphic zone; structural metamorphism-deformation; central Jiangxi metamorphic zone

