

东北巴西博尔博雷玛省地质构造发育背景

高坪仙

(中国地质科学院天津地质矿产研究所, 天津300170)

摘 要 东北巴西大部分属于博尔博雷玛省(Borborema)。全省可划分三个构造域,在克拉通化期间经历了三个主要构造热事件:2600 Ma(太古宙)、2000 Ma(古元古或外亚马孙)和700 Ma到550 Ma的巴西利亚事件。古老的太古宙片麻岩构造窗分布较广泛,它主要是由高级再造的灰色片麻岩组成,受剪切带所限,多形成穹窿或半穹窿状。元古宙地层大多出露在太古宙基底之间的片岩带区。晚元古巴西利亚运动期间,博尔博雷玛地区发育了一个复杂的大陆尺度韧性走滑剪切网络。它们是泛非-巴西利亚造山运动期间发育的地壳规模超大陆网络的一部分,其形成可能与周围主要克拉通的相对位移有关。

关键词 大陆尺度 韧性走滑剪切带 泛非-巴西利亚造山运动 构造窗

GEOLOGIC FEATURE OF THE BORBOREMA PROVINCE IN NORTHEAST BRAZIL

Gao Pingxian

(Tianjin Institute of Geology and Mineral Resources, CAGS, Tianjin 300170)

Abstract Most of northeast Brazil belongs to Borborema province. The province is subdivided three structural domains (Medio Coreau, Central and Sergipano domains), which suggests the existence of three major tectonothermal events at about 2600 Ma (Archean), 2000 Ma (Early Proterozoic or Trans-Amazonian) and 700 Ma to 550 Ma (Brasiliano). During Brasiliano event the province Cratonized inliers of Archean gneisses are widely exposed in the Borborema province. They are highly reworked gray gneisses as domes or half domes bounded by shear zones. Proterozoic Sequences crop out as a series of schist belts in Archean basement. During the late proterozoic Brasiliano orogeny, a complex network of Continental-Scale ductile strike-slip shear zones developed in the Borborema province. It is part of a trans continental network of crustal-scale shear Zones developed during the pan-African-Brasiliano orogeny, probably associated with the relative displacement of major Cratons surrounding this area, namely the West African Craton, the Zaire Craton, the Guyana shield and the São Francisco craton.

Key words ductile strike-slip, inliers, Continental-scale, Pan-African-Brasiliano orogeny

巴西利亚带长大于3000 km,宽大于800 km与西非的泛非带相联结。东北巴西博尔博雷玛省属巴西利亚带,它位于亚马孙克拉通东和圣弗朗西斯科(Sao Francisco)克拉通以北。这个区域大部分是由代表前巴西利亚基底的混合花岗岩-片麻岩组成。变沉积岩属元古宙沉积,经巴西利亚-泛非造山运动干扰,具复杂构造变质历史。巴西利亚构造-变质事件顶峰期达角闪岩相,紧接着有大量(> 50%)同构造到晚构造期的花岗岩类物质侵入。它是本区最重要的一次构造事件。

东北巴西博尔博雷玛省,面积约40万 km²。区内最显著的构造特征是具弯月状和分支网格状剪切带。在塞阿拉(Ceara)省,大陆尺度的陡倾双冲剪切带把全省划分为三个区域,沿格兰哈(Granja)和塞内多尔-波姆佩(Senador-pompeu)剪切带出露低压麻粒岩;中央塞阿拉推覆区出露高压麻粒岩;在塞内多尔-波姆佩剪切带南(SpSz南)出露各种片岩带。

博尔博雷玛省,包括剪切带中的岩石,可分为3个次级单位^[1]: (1)年龄为太古-早元古代(De Souza et al., 1993)的前巴西纪基底上壳岩建造,原先是深成侵入体,而现在多变质为高级片麻岩、混合岩、透镜状镁铁质岩和透镜状斜长角闪岩。(2)新元古代变质沉积单元,包括一个老于1800 Ma的下地台型层序和一个年轻的,可能晚于1000 Ma的不整合变泥质岩单元(Caby et al.)。前者由石英岩、变质泥岩、大理岩和局部蒸发条件下的钙硅质岩组成。(3)大约在650~550 Ma期间,同构造到晚构造期侵位形成巴西花岗岩侵入体(Srchanjo, 1993)。

1 前寒武纪的岩石地层组合

1.1 再造的太古宙

太古宙片麻岩构造窗广泛分布。在塞阿拉州(Ceara state)它们以剪切带为边界形成穹窿或半穹窿状地体。主要岩石类型有：1)非混合太古宙片麻岩。2)绿岩和变沉积岩。3)混合片麻岩。4)糜棱片麻岩。5)复相灰色片麻岩[2]。

1)非混合太古宙片麻岩，主要是斜长石-角闪石-黑云母灰色片麻岩。它是由英云闪长岩-奥长花岗岩-花岗闪长岩深成组分派生而来。其突出特征是具有韧性剪切形成的条带，并局部过渡到非变形的深成岩体。灰色片麻岩的矿物学组合特点主要是具有与绿帘石颗粒相伴的斜长石变斑晶，经测试变斑晶为重结晶的钙质斜长石及拉长的石英。此外，经常见有微绿色的黑云母、绿色角闪石、榍石、钛铁矿和少量钾长石+蠕状石。

角闪石成分单元与片麻岩整合。它们可能来自早于TTG单元富集的富Mg物体，在岩相学上与包体岩石类似。

经分异进入强烈变形的眼球状片麻岩中的斑状花岗岩，也属于这个火成岩组合系列，或是更年轻的物质。2)绿岩和变沉积岩，主要包含有镁铁质富镁角闪岩。角闪岩中可能含有残余枕状构造和火山角砾。还有透闪石片岩、不纯碳酸盐岩、硅质岩和富Al的变泥质片岩。

较完整的绿岩组合包括富Cr的超镁铁质变辉长岩、辉岩、闪岩和透闪石片岩及枕状变玄武岩，以布里托内维斯(Brito Neves)的特洛亚(Troia)地块为代表。相伴的变沉积岩有钙质变石英岩，富镁铁闪石、富硫和富锰的变沉积岩、大理岩和富Al石墨片岩。

3)混合片麻岩，是从灰色片麻岩派生而来的，包括递进或不连续的混合岩和雾迷状混合片麻岩。在博尔博雷玛省，先是富斜长石的似条纹浅色物质贯入，紧接着有好几个深源活动支脉贯入，其内含有非混合岩化的早已变形的正片麻岩块状包体。

4)糜棱片麻岩，是灰色片麻岩年轻再造阶段的产物，具糜棱带状构造和镁铁质透镜体和石香肠。糜棱叶理由新生的重结晶的细小黑云母和多晶质石英以及斜长石条带显示。糜棱片麻岩沿陡剪切带或大的低角度逆掩断层下出露。

5)复相灰色片麻岩，与相邻变深成岩中发育的叶理相一致，由TTG火成单元侵位之前或侵位期间由前巴西利亚物质派生而来。

1.2 元古宙层序

最典型的元古宙沉积区出露在塞里多(Serido)褶皱带，包含两个岩石地层单元[2]：1)朱库鲁图(Jucurutu)群：包括与太古宙基底不易分离的，局部出现不整合接触的埃夸多尔(Equadox)组石英岩。这个广泛分布的底部单元是含云母和长石的变石英岩组，具石英砾石及斜层理构造。其岩石组合为含钙、镁、硅和富铁的变沉积岩，有富绿帘石的片麻岩、厚层钙-硅质堆积以及具镁铁质和长英质变火山岩夹层的纯净大理岩。

叶理化花岗岩，以斑状或非斑状层状岩席先于变形、变质作用整合侵入该岩群。整合岩席铁镁矿物丰富，有时富集成薄条带使岩石具条带状外貌。全岩Rb-Sr年龄约为2000 Ma±。有的学者认为这些层状正片麻岩是非造山侵入体，仅上部叠加有巴西利亚构造-变质作用。

2)塞里多(Serido)群，其底部的复矿砾岩是一个明显的不整合单元，而整个塞里多群是一个单调的半泥质和泥质单元，厚达几千米。其间夹少量石英岩、钙-硅酸盐岩和闪岩。在绿片岩相区，常见明显的浊流沉积韵律层。在这个单元中Ca-Fe-Mg碳酸盐结核和透镜体特别醒目。靠近强变质区的二云母片岩常含有巨大的Al硅酸盐变斑晶(十字石、堇青石、红柱石)，斑晶具明显的多阶段变形特点。塞里多片岩全岩Rb-Sr年龄在560 Ma、580 Ma、600 Ma之间。

在帕图斯和伯南布哥(Pernambuco)线型带之间分布的卡舒埃林哈(Cachoeirinha)群是单一的复理石型绿片岩相单元，由绿色变硅质、变泥质和细粒变砂屑岩组成，局部见有富赤铁矿的千枚岩。此外还见有变硬砂岩、基质砾岩和双峰火山岩套(细碧岩、变玄武岩和长英质火山岩夹钙质火山碎屑沉积)。变质作用前的侵入体有闪长岩、英云闪长岩和花岗闪长岩岩株及蛇纹岩。一般认为卡舒埃林哈群可与塞里多群相比。

塞阿拉地区元古宙地层形成NNE-SSW向线型片岩剪切带。在欧罗什(Oros)单元地带沿两条弯月状主剪切带间，保存了最低变质的黑色页岩、片岩夹大理岩透镜体层，其上覆有具平行条带代表海相环境的石英岩。这里的变泥质岩以含铁铝榴石和十字石为特征。可与塞里多地区对比。

总观之，朱库鲁图(Jucurutu)群代表早元古陆棚海相蒸发环境的沉积物，随后有非造山的裂谷侵入作用(1700 Ma)。准整合或不整合的较年轻的塞里多群为复理石型岩套，可能是造山环境下的一套沉积。

2 区域地质构造特征

东北巴西博尔博雷玛省在巴西利亚/泛非造山运动期间经历了复杂的构造-变质历史。剪切带显示同造山花岗岩类延伸带和低压麻粒岩带紧密相伴的特征。

2.1 区域热冷却-构造史

对北部格兰哈(Granja)和南部蒙巴萨(Mombaca)麻粒岩带角闪石-黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar热年学资料测定的结果如下[3]：

1)麻粒岩剥露和冷却，其温度在525 ~ 340 °C间这是一个快速过程，此过程发生在575 Ma到560 Ma区间内。2)沿剪切(碎)带，麻粒岩的快速冷却与同运动的花岗岩侵位具同时性，锆石U-Pb年龄为579 ± 7 Ma(Leterrier

et al., 1994)。

3)在中央塞阿拉推覆区，地壳增厚和有关的高压变质作用均早于575 Ma。沿SpSz带共生白云母-黑云母对年龄为534 Ma和524 Ma, 分别代表岩石后来遭受350 和310 等温低压作用的时间，也可以反映原始麻粒岩剥露后剪切(碎)带冷缩的条件，或剪切作用和岩浆活动重新活化的环境。

在SpSz剪切(碎)带南出露各种片岩带，地壳具中等厚度。几公里的走滑剪碎带被不同剪切带分离。剪切带大多数具E-W走向，其中呈弯月状和分支脉状剪切带，对区域运动场起了一种转换调节作用。剪切带初始压力为0.5 ~ 0.6GPa，温度达650 ~ 700 [3] (Vauchez et al., 1995), 多数属韧性变形。沿剪切带出现后期(Postdate)镁铁质侵入体和花岗岩类侵入体。剪碎带晚期活化，特别是在帕图斯剪切带系统的东部分支产生低温退化超糜棱岩。糜棱岩化作用持续或周期性发生在温度从700 到400 的条件下。从东南片岩带研究区的资料可知，在帕图斯剪切带西部，角闪石和黑云母⁴⁰Ar/³⁹Ar热年资料反映连续热冷却发生在550 Ma到520 Ma期间，速率为6 ~ 9 /m.y.。Corsini et al.(1997)的资料说明在帕图斯剪切带东部，热冷却发生在540 Ma到500 Ma期间，速率为3 ~ 4 /m.y.，冷却比较缓慢。这种同时代走滑剪切带冷却作用的穿时性说明陡窄的剪切带西部冷却作用发生时间早、速度快，宽阔的剪切带东部冷却作用发生时间晚，速度也较缓慢。

在博尔博雷玛省由北往南三个剪切(碎)带出现的年龄和冷却速度都与东北巴西利亚造山运动的发育有关。

2.2 帕图斯剪切带系空间分布特征

帕图斯剪切带宽达30 km，延伸超过400 km(Amaro et al.,1991; Corsini, 1995)。它由具近水平矿物拉伸线理的，高度糜棱岩化和混合岩化，空间上分布较陡的片麻岩组成。低角闪岩到绿片岩相糜棱岩和超糜棱岩局限于一个狭窄带中，特别是沿帕图斯剪切带南部边界的糜棱岩和超糜棱岩带线状特征更明显。往东帕图斯剪切带消失于走向NE的塞里多沉积带中。Corsini等(1991)提出帕图斯剪切带和塞里多压扭带在构造上是连续的，而且大多数应变是由剪切带向压扭带转换。

往西帕图斯剪切带逐渐向南西弯曲，然后与NE向波坦吉剪切带相连接。它们是由一个50 km宽，150 km长的弧形网络化剪切带实现从EW走向为主到NE-SW走向为主的构造转换[1, 4]，其几何形态与逆冲构造中的双冲构造和断夹片相似。其南北边界以糜棱岩带为标志。叠加单元由许多透镜状非糜棱岩物质组成(变质沉积岩、基底片麻岩或岩体)。这些非糜棱岩物质被与南北边界相连接的数千米宽的S形剪切带包裹。往东所有剪切带合并在一起形成了帕图斯剪切带。次级走向NE的剪切带(即被坦莱格里Portalegre 剪切带和雅瓜里伯Jaguaribe 剪切带)，从双重体和SN走向的欧罗什(Oros)变沉积带展开，并与塔塔朱巴(Tatajuba)剪切带在构造上相连。

东北巴西主要地质事件综合表
(据 Caby et al., 1995)

	下古生代砂岩	
530 Ma	褶皱作用 流纹岩、A型花岗岩 拉开的磨拉石盆地和地堑 剪切带	乌斑扎拉及贾巴拉斯 (Ubajura & Jaibaras)
580 Ma 620 Ma	巴西利亚构造-变质事件	
700 Ma?	少数钙-碱性深成作用 少数双峰火山作用 造山复理石型沉积 开阔的内硅铝槽(弧后?) 似整合	塞里多 (Serido)
	无记录(稳定克拉通?)	
1700 Ma	裂谷有关的A型花岗岩 拉斑玄武岩岩床 铝质石英岩、片岩、碳酸盐岩等 克拉通化到前克拉通化的演化	朱库鲁图(Jucurutu) 塞阿拉 (Ceara)
2000 Ma	晚期花岗岩类 长期的、渐进的克拉通化	
> 2600 Ma	奥长花岗岩-英云闪长岩-花岗闪长岩组合 其次为绿岩和沉积岩	凯科 (Caico)

2.3 塞阿拉中央推覆区

塞阿拉中央区(Central Ceara)高度活动的深源太古宙条带状片麻岩基底被元古宙变沉积岩向北推复覆盖。沿褶皱轴面浅色英云闪长岩到奥长花岗岩和花岗闪长岩岩脉密集侵入,铁镁矿物集合体(黑云、角闪石、钛铁矿)和捕虏体、石英颗粒被拉伸。

在塞阿拉北部,太古宙混合岩逆掩岩席沿塞内多尔-波姆佩(Senador pompeu)剪切带有二云母片岩和副片麻岩。角闪岩香肠和变石英岩香肠,像无根褶皱频繁出现在变泥质岩中,其中以含石榴石-方解石的镁铁质角闪岩为特征岩石。

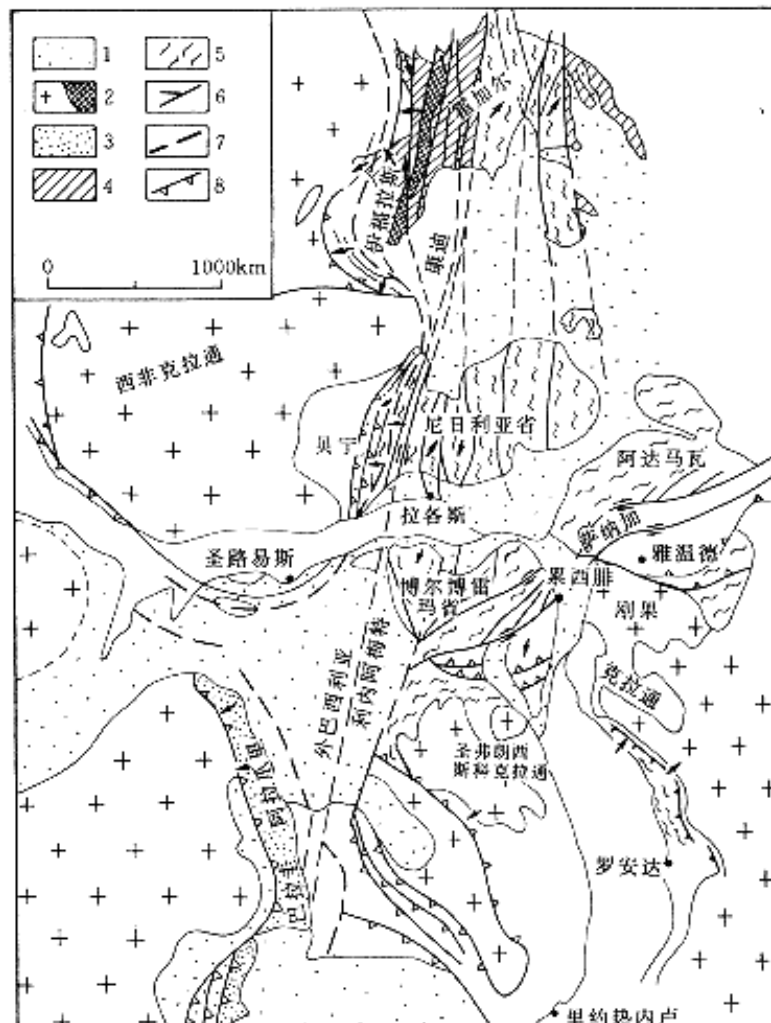
在塞阿拉南部,S-N走向线状拉伸和内露层反向变质带均与向南侵位的逆掩岩席和巨大的元古宙推覆体一致,呈近E-W向。

3 区域构造背景

东北巴西的构造格架是以复杂的大陆尺度韧性走滑剪切网络为主体,构成了一个数百千米长、十到几十千米宽,面积超过20万 km²,且运动学上连贯的体系^[1](Mello 1977; Santos & Brito Neves, 1984; Cabby et al., 1991)。其中许多前寒武纪韧性剪切带在白垩纪时经历了脆性活化(Magnavita, 1992; Destro et al., 1994; Francolin et al., 1994)。太古宙(或古元古)基底由高度再造的灰色片麻岩组成。在塞阿拉元,古宙沉积物沉积在这个古老基底上。这里早古元古沉积被花岗岩,也就是现在所称的正片麻岩侵位,其Rb-Sr全岩等时线年龄为2000Ma。有一种观点认为2000Ma古老正片麻岩是同构造花岗质岩石派生的,因而把超亚马孙大陆的年龄归于塞里多地区重要的构造热事件。

在伯南布哥线型构造南面的S-N走向片岩是圣弗朗西斯科克拉通的一部分^[2]。在帕图斯和伯南布哥线型构造之间保存的复理石型单元可能是卷入巴西利亚造山带中较年轻的沉积物。

帕图斯和伯南布哥断裂带与赤道西非相似的构造可以对比。巴西塞阿拉州西北索布拉尔(Sobral)断裂带和贝宁(Benin)和加纳泛非山脉之间有一转换连接点。博尔博雷玛省剪切构造网络是泛非-巴西利亚造山运动期间发育的地壳规模超大陆网络的一部分,它的形成可能与围绕这个地区相邻的主要克拉通相对碰撞位移有关,也就是说与西非、亚马孙和刚果-圣弗朗西斯科克拉通的相对位移有关(图1)。如西部走向NE的剪切带可能既与大陆西北边缘的斜向碰撞又与圣弗朗西斯科克拉通一级应变场扰动有关。



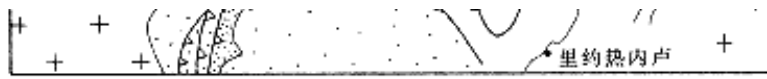


图1 特兰斯-撒哈拉和尼日利亚扇形区泛非带和巴西利亚带前中生代漂移再造图

Fig.1 The Trans-Saharan and Nigerian segments of the Pan-African belt and the Brasiliano belt a pre-Mesozoic drift reconstruction

箭头指示推覆体和沿剪切带的运动方向；1.显生宙；2. ≥ 2000 Ma克拉通地核；3.前陆推覆体；4.西霍加上元古宙；5.泛非-巴西利亚带；6.主要剪切带；7.晚元古缝合线；8.主要逆掩断层

在南大西洋开放期间，多数非均质地壳继承了巴西利亚造山运动的活动性，并控制着新生代沉积盆地的形成。这些盆地最优选的位置是沿断裂带区分布，盆地具棱角状边界。从原始沉积学资料可以证明这些断层主要是同沉积活动正断层。

在博尔博雷玛省现代沉积与继承性断裂带活化区有密切关系。多数地震震中沿巴西利亚线型构造，特别是沿伯南布哥和帕图斯线型构造，塞里多东界断层系和欧罗什(oros)断层系分布。震源机制研究表明在陡倾面上呈反向的、走滑断裂作用，认为E-W方向缩短与南大西洋扩张有关。

类似可比的大陆尺度剪切带如中国的红河剪切带，它受控于渐新世-中新世印度-亚州板块的聚合^[3] (Leloup et al., 1993, 1994; Schares et al., 1994)。

参 考 文 献

- 1 Michel corsini, Alain vauchez, Renaud caby. Ductile duplexing at a bend of a continental-scale strike-slip shear zone: Example from NE Brazil. Journal of Structural Geology, 1996, 18(4): 385 ~ 394.
- 2 Caby R, Stal AN, Arthaud M, Vauchez A. Crustal evolution and the Brasilario Orogeny in Northeast Brazil. 西非造山带和环大西洋相关地带，第六章, 1995, 373 ~ 397
- 3 Monie P, Caby R, Arthaud M H. The Neoproterozoic Brazilian orogeny in northeast Brazil: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and petrostructural data from Cear • a. Precambrian Research, 1997, 81: 241 ~ 264
- 4 高坪仙. 双冲构造简介. 前寒武纪研究进展, 1998, 21(1)