

<http://www.geojournals.cn/georev/ch/index.aspx>

东南极泛非普里兹带:碰撞造山带还是板内造山带

李森, 刘晓春

中国地质科学院地质力学研究所, 北京, 100081

内容提要: 东南极普里兹带是近几年在南极大陆上识别出的一条重要的泛非期构造带, 因其成因涉及到冈瓦纳超大陆在寒武纪时的形成与演化问题, 因此一直是国际地学界关注的焦点。但到目前为止, 对于该造山带的构造属性还存在着不同的认识, 有些人认为它是板内造山带, 而另一些人认为它是两个大陆板块之间的碰撞带。其基本特征是: 普里兹带两侧为前泛非期不同性质的岩石圈单元, 整个区域经历了早期中一上地壳挤压逆冲和晚期中一上地壳伸展垮塌的构造演化历史, 区域麻粒岩相变质作用表现为近等热减压的顺时针 $p-t$ 轨迹。此外, 东南极克拉通与冈瓦纳其他块体在 500 Ma 前的古地磁极移曲线并不一致。所以, 尽管目前尚未发现蛇绿岩套、岛弧增生杂岩或高压变质岩等直接指相标志, 但这些特征均反映了普里兹带是板间碰撞拼合的缝合带, 而不是板内造山带, 东南极地盾本身则是由不同块体在泛非期拼合而成的。

关键词: 东南极; 普里兹带; 泛非期; 大陆碰撞

东南极地盾作为东冈瓦纳大陆的核心, 曾被认为是由太古宙陆核在中一新元古代格林维尔期(约 1000 Ma)聚合焊接而成, 并通过环东南极格林维尔造山带与东冈瓦纳大陆的其他块体发生碰撞拼合, 而早古生代的泛非运动仅表现为局部岩浆活动及浅变质作用 (Sheraton et al., 1984; Grew et al., 1986; Black et al., 1987; Stüwe et al., 1989; Tingey, 1991; Moores, 1991; Fitzsimons et al., 1991; Kinny et al., 1993)。相应地, 普里兹湾 (Prydz Bay) 地区也被认为是格林维尔造山带的一部分。20 世纪 90 年代初, 中国地质学家对位于东南极普里兹湾海岸带中部的拉斯曼丘陵 (Larsemann Hills) 进行了地质研究, 证明该区主期麻粒岩相变质作用发生在早古生代早期(泛非期), 并首次提出普里兹湾及其东南部属于泛非期构造活动带而不是前人所认为的格林维尔构造带, 且泛非事件是导致冈瓦纳最终拼合的重要构造运动 (Zhao et al., 1992, 1995), 这在地质界产生了极大的反响。这一时期, 在东南极其他地区, 包括毛德皇后地 (Dronning Maud Land)、吕措—霍尔姆湾 (Lutzow-Holm Bay) 和登曼冰川 (Denman Glacier) 等地也发现一系列泛非构造热事件 (Black et al., 1992; Shiraishi et al., 1992; Jacobs et al., 1998), 所以国际上将东南极研究的焦点逐渐

集中到泛非构造热事件的性质和构造含义上。

目前国际地学界多数认为东南极泛非普里兹带是冈瓦纳超大陆上继莫桑比克缝合带之后的又一条重要构造带, 但是对于该构造带的性质还存在不同的认识, 有人认为它是板内造山带 (Wilson et al., 1997; Yoshida et al., 2003), 而有人认为它是两个板块之间的碰撞造山带 (Fitzsimons, 2000a; Boger et al., 2001; 刘小汉, 2002; Zhao et al., 2003)。显然, 对普里兹带性质的确认有助于进一步认识冈瓦纳超大陆在寒武纪时的形成和演化问题。如果普里兹带泛非构造作用涉及到洋盆的闭合和陆块间大规模的推覆剪切构造作用, 那么传统上作为东冈瓦纳一部分的东南极地盾于格林维尔期沿环东南极造山带与东冈瓦纳的其他块体拼合的观点就应摒弃, 取而代之的是东南极地盾本身就不是单一的陆块, 而是由具有不同地质演化历史的前寒武纪块体在泛非期拼合起来的; 但如果普里兹带仅仅是板内改造的结果, 其科学意义则远没有想象的那样大。本文拟分析近年来关于东南极普里兹湾—格罗夫山地区的研究成果, 进而讨论这一关键科学问题。

1 板内造山带与碰撞造山带

板块构造理论认为, 碰撞造山带是岩石圈板块

注: 本文为国家自然科学基金项目(编号 40372046)和国土资源大调查项目(编号 1212010511505)资助的成果。

收稿日期: 2005-12-05; 改回日期: 2006-01-10。责任编辑: 郝梓国。

作者简介: 李森, 女, 1973 年生。中国地质科学院地质力学研究所在读博士生, 从事地球化学和岩石学的研究工作。通讯地址: 100081, 北京民族学院南路; Email: limiao331@sohu.com。

汇聚作用的产物。两个大陆板块之间的大洋逐渐合并消失,最终导致陆-陆碰撞形成碰撞造山带。而一个大陆板块常包括许多相对独立的小块体,它们之间通常有拉薄的过渡性地壳作为边界,由于岩石圈拆离引起陆内俯冲或板块汇聚作用产生的远程效应使这些小块体沿边界发生碰撞就形成板内造山带。

板内造山带有着与碰撞造山带不同的区域大地构造位置、造山带构造格局、构造变形、变质特征以及岩浆活动与沉积作用。板内造山带通常形成于相对稳定的大陆板块内部,造山带内各构造单元呈面状分布,造山带的两侧是具有相同岩石圈结构与演化历史的同一岩石圈板块。碰撞造山带则是不同板块边界之间的断层或剪切带,造山带中各构造单元和构造变形迹大体都与造山带平行,呈带状分布,造山带的两侧是具有不同演化历史和岩石圈结构的构造单元。板内造山带构造变形一般具有厚皮构造特征,主要以脆性断裂变形为主,缺少强烈的区域变质作用和韧性变形,也没有碰撞造山带特有的高压低温和高温低压双变质带以及构造演化的极性特征,比如前陆磨拉石盆地的沉积、岩浆侵入和火山活

动的岩石成分变化和时空分布等(张长厚, 1999)。碰撞造山带构造变形常具有薄皮构造特征,发育有韧性剪切带,在构造演化上具有明显的极性特征,碰撞造山带还常与蛇绿岩残片和大陆边缘到滨海的表壳岩相联系,其中表壳岩在碰撞挤压构造体制作用下发生强烈变形,形成与俯冲带有关的岛弧增生火山岩和高压低温变质岩。此外,碰撞造山带变质作用的 $p-t-t$ 轨迹总体上为顺时针方向,表现为碰撞过程中由于地壳加厚压力升高直到最大值,接着由于重力均衡作用地壳抬升并遭受快速剥蚀,压力逐步下降而温度逐步达到最高(即达到变质峰期),随后是近等温减压的轨迹特征。

考察一个造山带是大陆碰撞带还是板内造山带,关键是要在空间上确定其所处的大地构造位置,在时间上搞清其形成演化历史和主造山期,尤其是造山期间所处的大地构造部位及属性。

2 区域地质背景

东南极普里兹湾—查尔斯王子山地区发育着具有不同前格林维尔期和前泛非期地质演化历史的几个地质单元,由东北向西南依次为太古宙西福尔丘

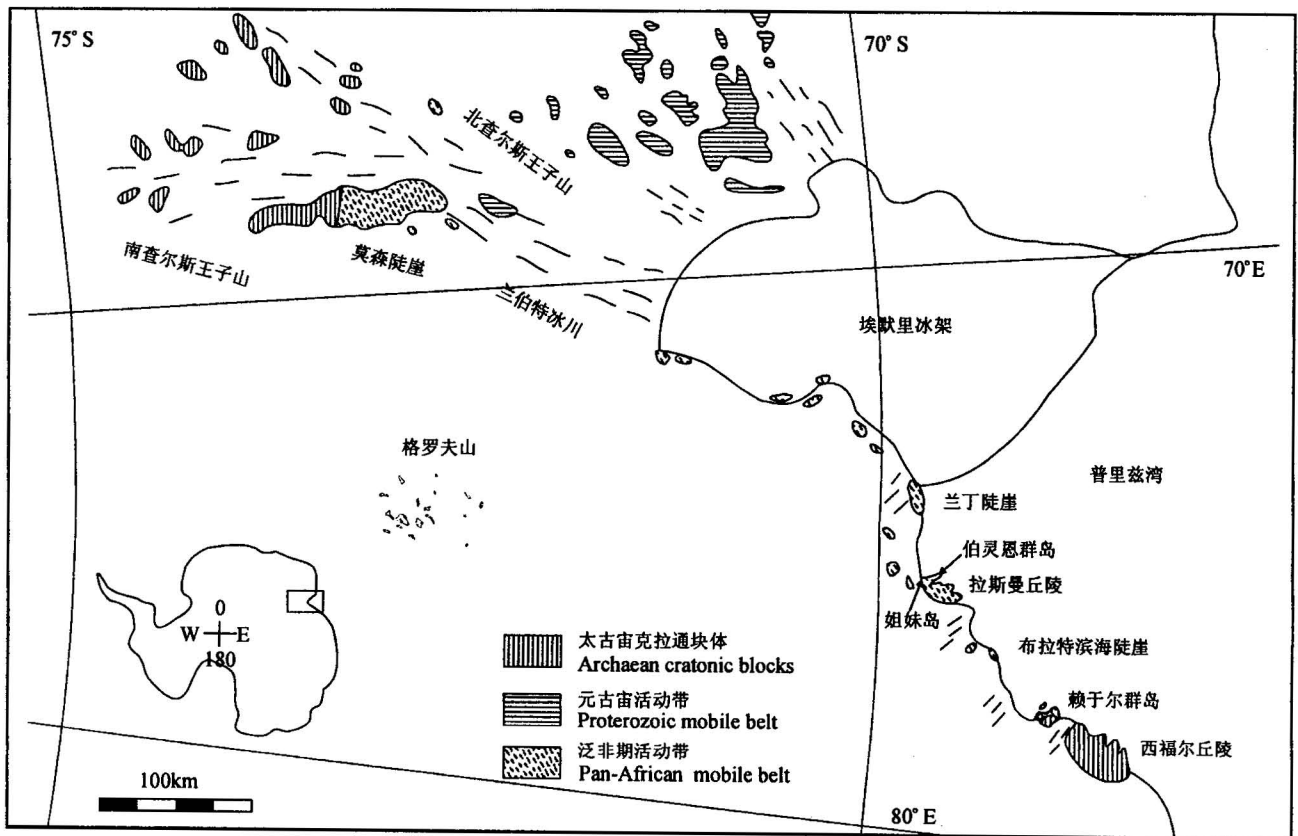


图1 东南极普里兹带区域地质简图

Fig. 1 Regional geological sketch map of the Prydz belt in the east Antarctica

陵(Vestfold Hills)地块、太古宙—元古宙赖于尔群岛(Rauer Islands)拼合杂岩、普里兹湾—埃默里冰架东缘(eastern Amery Ice Shelf)—格罗夫山(Grove Mountains)地区的中元古代—古生代变质杂岩、北查尔斯王子山(northern Prince Charles Mountains)的中—新元古宙地体和南查尔斯王子山(southern Prince Charles Mountains)的太古宙地体(图1)。泛非普里兹带的出露范围主要包括普里兹湾、埃默里冰架东缘、格罗夫山和南查尔斯王子山的莫森陡崖(Mawson Escarpment)。

西福尔丘陵是普里兹湾地区出露最大的连续地块,该区在太古宙末(2500Ma)经历了麻粒岩相高级变质作用并快速形成稳定块体(Black et al., 1991),其后在早—中元古代经历了挤压与拉张交替进行的地质演化历史,形成大量脆性-韧性剪切变形,并伴随有多期基性岩墙群的侵入(Lanyon et al., 1993; Seitz, 1994; Dirks et al., 1994)。该地区还发现有泛非期 600~500 Ma 的 Rb-Sr 云母年龄(Collerson et al., 1986)。

赖于尔群岛主要由 1000 Ma 花岗质正片麻岩和具中太古代成分的复合正片麻岩组成(Kinny et al., 1993; Harley et al., 1998),其东北部出露以层状杂岩为代表的太古宙复合片麻岩,并被后期已经强烈变形的大量镁铁质岩墙切穿,西部和南部出露中元古代花岗质正片麻岩和新元古代变沉积岩及正片麻岩(Harley et al., 1995; Harley et al., 1998)。赖于尔群岛在泛非期发生了区域性高级变质作用(Sims et al., 1994; Harley et al., 1998)。

普里兹湾沿岸—埃默里冰架东缘出露镁铁—长英质复合正片麻岩和混合岩化副片麻岩,正片麻岩被认为是基底岩系并与赖于尔群岛东南的正片麻岩相对应,混合岩化副片麻岩则代表基底岩系之上的沉积盖层(Zhao et al., 2003)。其中拉斯曼丘陵高级变质副片麻岩中散布有基性、超基性岩透镜体,并产出特殊的高铝、铁、镁片麻岩,即蓝色片麻岩(Stüwe et al., 1989)或堇青石-尖晶石片麻岩(Dirks et al., 1993)。普里兹湾高级变质岩局部被泛非期同期和后期构造花岗岩侵入,如拉丁花岗岩、进步花岗岩和阿曼达花岗岩(Tingey, 1991; Zhao et al., 1992; Zhao et al., 2003)。

格罗夫山位于普里兹湾以南约 400 Km,其主体为遭受过泛非期麻粒岩相变质作用的正片麻岩,包含少量副变质沉积岩、钙质硅酸岩和镁铁质麻粒岩。该区发育大量的泛非期紫苏花岗岩和大致顺片

麻理侵入的粗粒花岗岩,并有后期细粒花岗岩脉的侵入(刘小汉, 2002; Liu et al., 2002)。

北查尔斯王子山主要出露中—新元古代变质杂岩,包括长英质正片麻岩、泥质—半泥质片麻岩、镁铁质麻粒岩和紫苏花岗岩(Fitzsimons et al., 1992)。该地区在格林维尔期发生中压麻粒岩相变质作用(Boger et al., 2000; Carson et al., 2000),此外还受到早古生代(泛非期)构造作用的影响(Tingey, 1991; Manton et al., 1992; Hensen et al., 1997; Boger et al., 2002)。南查尔斯王子山主要出露太古宙变质杂岩,北部的莫森陡崖明显受到泛非期变质作用的改造,时代为 550~490Ma (Boger et al., 2001)。

3 普里兹带的基本特征

东南极泛非普里兹带主要包括赖于尔群岛、普里兹湾沿岸、埃默里冰架东缘以及格罗夫山,向西南可能延伸到南查尔斯王子山的莫森陡崖,向东北可能延伸到登曼冰川和澳大利亚的勒文杂岩(Leeuwin Complex; Carson et al., 1996; Fitzsimons, 2000b)。对该地区的研究主要集中在地质年代学、构造和变质作用的特征方面。

3.1 赖于尔群岛

赖于尔群岛东南部主要出露太古宙复合正片麻岩,西部为中元古代花岗质正片麻岩和新元古代变沉积岩及正片麻岩(Kinny et al., 1993; Harley et al., 1998)。赖于尔群岛在中—新元古代格林维尔期(约 1000 Ma)曾被认为发生达麻粒岩相的变质作用,后期有大量西—西南向面状伟晶岩侵入,沿伟晶岩的边部分布有近水平拉伸线理和右旋剪切的糜棱岩(Kinny et al., 1993; Sims et al., 1994)。然而,通过 SHRIMP U-Pb 分析获得的伟晶岩、细晶岩脉、英云闪长质片麻岩和铁质闪长岩的年龄分别为 500 ± 12 Ma、 548 ± 26 Ma、 528 ± 12 Ma 和 511 ± 10 Ma (表1),说明泛非事件对赖于尔群岛的影响巨大。最近对副片麻岩中独居石的原位化学定年也获得 511 Ma 的精确数据(Kelsey et al., 2003),进一步证明该区在泛非期经历了高级变质作用。赖于尔群岛泛非期区域上的变质条件在东南为 0.7~0.85 GPa、 $840 \pm 40^\circ\text{C}$,西北为 0.5~0.77 GPa、 $840 \pm 40^\circ\text{C}$,随后发生近等温减压为 0.2~0.4 GPa (Harley, 1987; 1988; 1991)。

3.2 普里兹湾—埃默里冰架东缘地区

普里兹湾到埃默里冰架东缘地区主要由中—新

表 1 东南极普里兹带泛非期同位素年代学一览表

Table 1 Isotopic data of the Pan-African Prydz belt in the east Antarctica

地点	赖于尔群岛 Rauer Islands	布拉特滨海陡崖 Brattstrand Bluffs	拉斯曼丘陵 Larsemann Hills	兰丁陡崖 Landing Bluff	格罗夫山 Grove Mountains	莫森陡崖 Mawson Escarpment
方法	U-Pb 锆石	U-Pb 锆石	U-Pb 锆石	Rb-Sr 全岩	U-Pb 锆石	U-Pb 锆石
年龄值	500±12Ma ^① (伟晶岩) 548±26Ma ^① (细晶岩脉) 528±12Ma ^② (英云闪长质片麻岩) 511±10Ma ^② (伟晶质铁闪长岩)	535±13Ma ^③ 536±35Ma ^③ U-Pb 独居石: 528±4Ma ^③ 527±11Ma ^③ 518±3Ma ^③ 512±13Ma ^③ (淡色片麻岩)	547±9Ma ^④ (进步花岗岩) 516.2±6.8Ma ^④ (进步花岗岩) 514.3±6.7Ma ^④ (进步花岗岩) 556±7Ma ^④ (早期部分熔融体)	493±17Ma ^⑤ (兰丁花岗岩) U-Pb 锆石 500±4Ma ^⑤ (兰丁花岗岩)	529±14Ma ^⑥ (花岗质片麻岩) 534±5Ma ^⑥ (二长花岗岩) 501±7Ma ^⑥ (花岗闪长岩脉)	510Ma ^⑦ (淡色片麻岩) 490Ma ^⑦ (花岗质片麻岩) 550Ma ^⑦ (片麻状花岗岩)

^①Kinny et al. (1993); ^②Harley et al. (1998); ^③Fitzsimons et al. (1997); ^④Zhao et al. (1992); ^⑤Carson et al. (1996); ^⑥Tingey (1991); ^⑦Zhao et al. (2000); ^⑧Boger et al. (2001)。

元古代片麻岩组成。正片麻岩作为基底受到 1000 Ma 的岩浆侵入及可能的变质作用的影响。基底之上为副片麻岩盖层系列,由基底岩石剥蚀沉积形成。对普里兹湾沿岸包括姐妹岛(Sostrene Island)、伯灵恩群岛(Bolingen Islands)、布拉特滨海陡崖(Brattstrand Bluffs)和拉斯曼丘陵的变质岩进行的石榴子石 Sm-Nd 全岩同位素定年结果表明,影响该地区的主要变质期为 515~490 Ma 的泛非期,但存在 990Ma 的早期变质事件残留(Hensen et al., 1995)。利用单颗粒锆石逐级蒸发的方法获得拉斯曼丘陵进步花岗岩的侵位年龄为 547±9 Ma,早期部分熔融体为 556±7 Ma (Zhao et al., 1992)。由 SHRIMP U-Pb 分析对进步花岗岩的进一步检验结果分别为 516.2±6.8 Ma 和 514.3±6.7 Ma (Carson et al., 1996)。兰丁花岗岩具有 493±17 Ma 的 Rb-Sr 全岩年龄和 500±4 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(Tingey et al., 1991; Kinny et al., 1993)。在布拉特滨海陡崖的淡色片麻岩获得了 535±13 Ma 和 536±35 Ma 的 SHRIMP 锆石 U-Pb 年龄(Fitzsimons et al., 1997)(表 1)。这些数据说明普里兹湾地区在泛非期遭受了强烈的构造—热事件的影响。

拉斯曼丘陵与伯灵恩群岛主要受到两期(D₂ 和 D₃)变形作用的改造,其东北部的布拉特滨海陡崖则以 D₃ 变形为主(Dirks et al., 1995a)。拉斯曼丘陵早期 D₂ 变形形成于挤压构造期,显示出非共轴变形且不均匀分布在强、弱变形带中。强、弱变形带均以片麻岩面理中向东倾伏的矿物拉伸线理为特征。强变形带的动力学指向为南东东—北西西转换挤压方向。在整体挤压构造体制下发生广泛的混合岩化和

部分同构造花岗岩及伟晶岩的侵入。局部发育大量 D₃ 强变形带叠加于 D₂ 变形中,具有西南倾向的矿物拉伸线理,显示伸展的运动学特征。随后的 D₄ 变形表现为角闪岩相右旋拉伸糜棱岩带,糜棱岩带中发育面状伟晶岩,代表了 D₃ 拉伸变形活动的减弱(Carson et al., 1995; 1996; 1997)。类似的具有剪切边缘的伟晶岩在伯灵恩群岛、布拉特滨海陡崖和赖于尔群岛均有报道(Dirks et al., 1995a; Fitzsimons et al., 1991; Sims et al., 1994)。含石榴子石—斜方辉石的英云闪长质片麻岩显示早期 D₂ 变形,变质峰期温压条件为 0.7 GPa、780℃,随后减压冷却到 0.45 GPa、700℃(Stüwe et al., 1989)。早古生代 D₃ 变形的峰期变质条件为 0.45 GPa、750℃,随后发生近等温减压冷却到 0.3 GPa。伯灵恩群岛和布拉特滨海陡崖也都有与拉斯曼丘陵相似的温压演化轨迹(Thost et al., 1994; Dirks et al., 1995b; Fitzsimons, 1996)(图 2)。

普里兹湾地区变质岩总体上具有早期的中下地壳挤压变形结构和随后的中上地壳拉伸变形结构以及相应的减压冷却结构,区域麻粒岩均表现为近等热减压的顺时针 *p-t* 演化轨迹,可看作是在总的东西向挤压构造体制下地壳增厚,后期南北向上地壳伸展垮塌的剥蚀模式(Carson et al., 1995; Dirks et al., 1995a; Fitzsimons, 1997)。

3.3 格罗夫山

对格罗夫山代表性的花岗质片麻岩、二长花岗岩和花岗闪长岩进行的锆石 U-Pb 同位素测年,结果显示麻粒岩相峰期变质年龄集中在 529±14 Ma,花岗岩的侵位年龄为 534±5 Ma,花岗闪长岩脉的年龄为 501±7 Ma(表 1),显然格罗夫山麻粒岩相

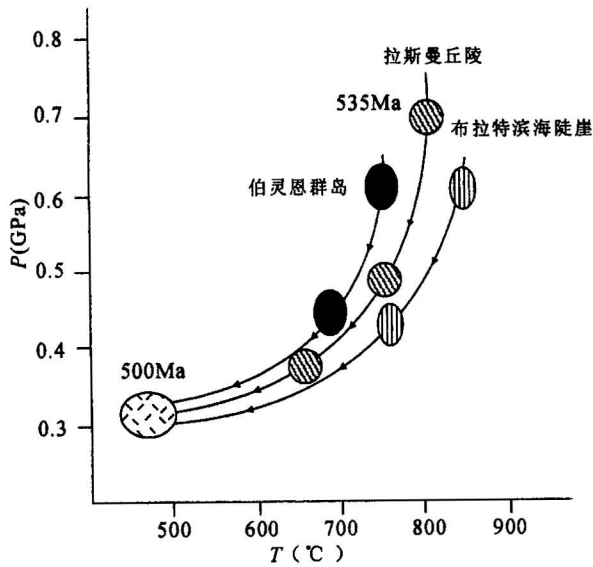


图 2 普里兹湾泛非期麻粒岩相变质作用的 $p-t$ 轨迹
Fig. 2 $p-t$ path of the Pan-African granulite facies metamorphism in Prydz Bay

(after Stüwe et al., 1989; Fitzsimons et al., 1991, 1996; Thost et al. 1994; Dirks et al., 1995; Carson et al., 1997)

变质峰期是在泛非期。格罗夫山整体显示出较平缓的区域性片麻理, 仅局部地段见有强烈韧性变形带。麻粒岩和片麻岩中的片麻理普遍清晰可见, 但花岗岩体中的片麻岩相对比较微弱(刘小汉等, 2002)。其变质岩的代表性矿物组合以及变质反应结构多为单一的区域性麻粒岩相变质作用, 含石榴子石片麻岩中的石榴子石-斜方辉石-斜长石-石英压力计反映变质压力为 0.61~0.67 GPa, 而由出溶辉石的复原技术获得的变质峰期温度为 850°C (Liu et al., 2003)。然而, 在镁铁质麻粒岩中也发现有早期相对高压阶段的残留, 其变质条件约为 0.93 GPa、>800°C (俞良军等, 2002)。由此可以推导出麻粒岩的近等温降压 $p-t$ 演化轨迹, 该轨迹与碰撞导致的地壳构造增厚以及随后的抬升剥蚀和构造减薄相一致。显然, 格罗夫山与普里兹湾沿岸非常相似, 显示他们具有相同的泛非期地质演化历史。

3.4 南查尔斯王子山

南查尔斯王子山泛非期活动带主要发育于莫森陡崖, 其南北两侧地体的 SHRIMP 锆石 U-Pb 分析结果表明, 南部的鲁克(Ruker)地体保留了太古宙中期的构造演化历史, 具有 3160~2650 Ma 的锆石年龄, 而北部的兰伯特(Lambert)地体形成于 550~490 Ma 的泛非期(寒武纪)并含有太古宙晚期至中元古代的碎屑锆石(分别为 2800、2200、2120、1800

和 1600 Ma), 显然二者碎屑锆石的年龄完全不同(Boger et al., 2001)。说明北部的兰伯特地体并没有接受南部的鲁克地体的沉积, 也没有接受赖于尔群岛和西福尔丘陵等东南极地盾太古宙地块的沉积, 而是属于泛非期陆壳增生期间产生的“新生”地壳(刘小汉等, 2002)。该区变质作用仅达到高角闪岩相, 峰期变质条件为 0.6~0.7 GPa、650~700°C, 并随后经历了约 0.3 GPa 的近等温减压(Boger et al., 2005)。

从拉斯曼丘陵的花岗岩及赖于尔群岛南部的布拉特滨海陡崖中部分熔融的淡色花岗岩中获得泛非期锆石 SHRIMP 年龄, 进一步说明普里兹湾地区泛非期高级变质作用的普遍存在。整个普里兹带泛非构造作用以强烈的热演化(850°C, 25 km)、深融作用、广泛的韧性变形和地壳的垂向增生以及变质峰期之后近 10 km 的剥蚀为特征, 区域麻粒岩近等温减压的 $p-t$ 轨迹和减压的深融作用可与碰撞后的伸展和垮塌相联系(Carson et al., 1995; 1997; Dirks et al., 1995; Fitzsimons, 1997; 2000b)。区域早期挤压逆冲和晚期减压伸展构造的确定支持了泛非期碰撞造山过程汇聚板块边缘的特征。在泛非期还发育大量同期和后期构造花岗岩及伟晶岩, 正是碰撞造山后期岩浆演化的产物。

4 讨论

从已有的地质年代学资料和接触关系看, 泛非期普里兹带分隔了前泛非期具有不同演化历史的构造单元: 将西福尔丘陵、赖于尔群岛的太古宙陆块以及南查尔斯王子山太古宙地块(3160~2650 Ma)与北查尔斯王子山中一新元古代构造带(990~900 Ma)分开。通过对赖于尔群岛东南部太古宙复合正片麻岩的锆石 SHRIMP U-Pb 定年, 并未发现格林维尔期构造热事件叠加的年代学信息, 但西部花岗岩正片麻岩和东南部复合正片麻岩均遭受了泛非期麻粒岩相变质作用和强烈变形作用, 说明赖于尔群岛这两部分块体至少在格林维尔期还保持相对独立, 有可能是到泛非期才发生碰撞拼合在一起的(Zhao et al., 2003)。

现已查明东南极 600~500 Ma 泛非高级构造作用分为 4 部分, 即: 毛德皇后地、吕措-霍尔姆湾、普里兹湾和登曼冰川, 这几个高级构造带将东南极毛德(Maud)、雷纳(Rayner)和威尔克斯(Wilkes)3 个不同的中-新元古代地壳省连接起来(Fitzsimons, 2000a, b)。这些被后来的泛非事件分

离开的基底省具有不同的同位素记录,分别与非洲 Namaqua-Natal 省(1090~1030 Ma)、印度 Eastern Ghats 地区(990~900 Ma)和澳大利亚 Albany-Fraser 省(1330~1130 Ma)相对应,表明较早基底并不是格林维尔造山带的一部分,东南极地盾本身至少是由 3 个前寒武纪块体在泛非期拼合起来的。现有的古地磁证据表明,东南极克拉通与冈瓦纳其它块体在 5 亿年前的古地磁极移曲线并不一致(Powell et al., 2001; Torsvik et al., 2001)。从而在寒武纪前,东南极无论是在冈瓦纳中还是在罗迪尼亚中都不是一个统一的块体,对与超大陆聚合相关的高级、超高温变质作用的研究也证实了这一点(Harley, 2003)。

最新研究结果表明,冈瓦纳古陆可能是由 3 个克拉通块体碰撞拼合形成的(图 3),即西冈瓦纳(非洲和南美)、印度-南极(北查尔斯王子山)和东冈瓦纳(东南极和澳大利亚)(Meert et al., 1997; Fitzsimons, 2000a; Boger et al., 2001)。古地磁数据及地质年代学证据均支持冈瓦纳古陆的聚合是自

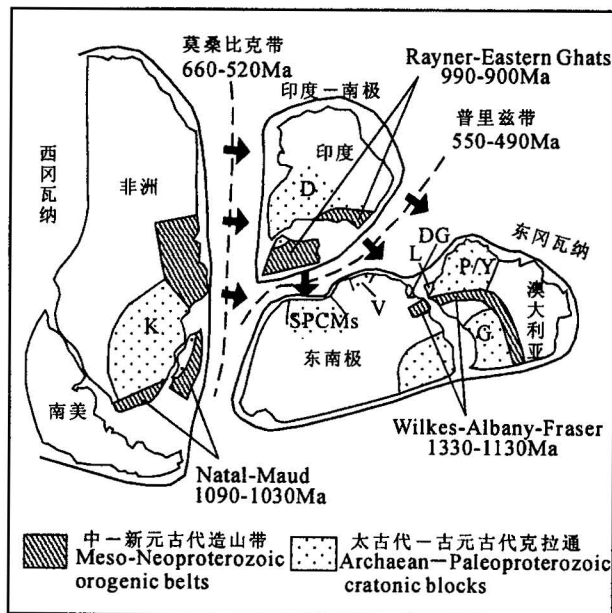


图 3 冈瓦纳古陆重建示意图(据 Boger et al., 2001)

Fig. 3 Schematic map of proposed reconstruction of Gondwana

K—Kalahari 克拉通; D—Dwarhai 克拉通; P/Y—Pilbara/Yilgarn 克拉通; G—Gawler 克拉通; V—Vestford 丘陵; Aust—澳大利亚; SPCMs—南查尔斯王子山; L—勒文杂岩; DG—登曼冰川

K—Kalahari craton; D—Dwarhai craton; P/Y—Pilbara/Yilgarn craton; G—Gawler craton; V—Vestford hills; Aust—Australia; SPCMs—southern Prince Charles Mountains; L—Lewen complex; DG—Dengman glacial

西向东进行的,先是西冈瓦纳在 660~520 Ma 与印度-南极块体发生碰撞,莫桑比克洋关闭,而印度-南极块体在 550~490 Ma 沿南查尔斯王子山-普里兹湾与东冈瓦纳发生碰撞(Boger et al., 2001)。从而在时间上莫桑比克洋开始闭合应早于南查尔斯王子山-普里兹带的缝合。由碰撞产生的北西-南东向挤压变形引起普里兹湾沿岸和南查尔斯王子山发生变质变形和广泛的岩浆作用,以及大量面状伟晶岩及同期和后期构造花岗岩的侵入。北查尔斯王子山和印度 Eastern Ghats 地区位于南查尔斯王子山-普里兹带的边缘地带,并未受到泛非事件的强烈影响,仅产生弱变形及少量伟晶岩侵入。

5 结论

虽然东南极泛非期普里兹带目前仍缺少新元古代的蛇绿岩和岛弧增生杂岩,也没有发现标志俯冲条件下形成的高压低温型变质岩(蓝片岩或榴辉岩)的证据,但是对普里兹带各地块的研究已经显示了板块碰撞带的许多特征:普里兹带两侧为前泛非期不同的岩石圈单元,整个区域经历了早期中-下地壳挤压逆冲和晚期中-上地壳减压伸展构造的地质演化历史,区域麻粒岩相变质作用表现为近等热减压的顺时针 $p-t$ 演化轨迹,并广泛发育同期和后期构造花岗岩。另外东南极克拉通与冈瓦纳其他块体在 5 亿年前的古地磁极移曲线并不一致。所有这些特征都支持东南极泛非普里兹带代表印度-东南极和澳大利亚-东南极(东冈瓦纳)这两个大陆板块在泛非期发生碰撞形成的碰撞造山带,东南极地盾本身是由具有不同地质演化历史的前寒武纪块体在泛非期拼合起来的。

参 考 文 献 / References

- 刘小汉,赵越,刘晓春,俞良军. 2002. 东南极格罗夫山地质特征—冈瓦纳最终缝合带的新证据. 中国科学(D), 32(6):457~468.
- 俞良军,刘小汉,刘晓春,赵越,琚宜太,刘晓春. 2002. 东南极格罗夫山镁铁质麻粒岩的变质作用. 岩石学报, 18(4):501~516.
- 张长厚. 1999. 初论板内造山带. 地学前缘, 6(4):295~308.
- Black L P, Harley S L, Sun S S, McCulloch M T. 1987. The Rayner complex of East Antarctica: complex isotopic systematics within a Proterozoic mobile belt. Journal of Metamorphic Geology, 5:1~26.
- Black L P, Kinny P D, Sheraton J W, Delor C P. 1991. Rapid production and evolution of late Archaean felsic crust in the Vestfold block of East Antarctica. Precambrian Research, 50:283~310.
- Black L P, Sheraton J W, Tingey R J, McCulloch M T. 1992. New U-Pb zircon ages from the Denman Glacier area, East Antarctica, and their significance for Gondwana reconstruction. Antarctic

- Science 4:447~460.
- Boger S D, Carson C L, Wilson C J L, Fanning C M. 2000. Neoproterozoic deformation in the Radok Lake region of the northern Prince Charles Mountains, East Antarctica; evidence for a single protracted orogenic event. *Precambrian Research*, 104:1~24.
- Boger S D, Wilson C J L, Fanning C M. 2001. Early Paleozoic tectonism within the East Antarctic craton; the final suture between east and west Gondwana? *Geology*, 29:463~466.
- Boger S D, Carson C L, Fanning C M, Hergt J M, Wilson C J L, Woodhead J D. 2002. Pan-African intraplate deformation in the northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Earth and Planetary Science Letters*, 195:195~210.
- Boger S D, Wilson C J L. 2005. Early Cambrian crustal shortening and a clockwise *P-T-t* path from the southern Prince Charles Mountains, East Antarctica; implications for the formation of Gondwana. *Journal of Metamorphic Geology*, 23:603~623.
- Carson C J, Dirks P H G M, Hand M, Sims J P, Wilson C J L. 1995. Compressional and extensional tectonics in low-medium pressure granulites from the Larsemann Hills, East Antarctica. *Geological Magazine*, 132:151~170.
- Carson C J, Fanning C M, Wilson C J L. 1996. Timing of the progress granite, Larsemann Hills; additional evidence for Early Palaeozoic within east Antarctic Shield and implications for Gondwana assembly. *Australian Journal of Earth Sciences*, 43:539~553.
- Carson C J, Powell R, Wilson C J L, Dirks P H G M. 1997. Partial melting during tectonic exhumation of a granulite terrane; an example from the Larsemann Hills, East Antarctica. *Journal of Metamorphic Geology*, 15:105~126.
- Carson C L, Boger S D, Fanning C M, Thost C J L. 2000. SHRIMP U-Pb geochronology from Mt. Kirk by northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Antarctic Science*, 12:429~442.
- Collerson K D, Sheraton J W. 1986. Bedrock geology and crustal evolution of the Vestfold hills. In: Pickard J. eds. *The Antarctic Oasis: Terrestrial Environments and History of the Vestfold Hills*. Sydney: Academic Press, 21~62.
- Dirks P H G M, Carson C J, Wilson C G L. 1993. The deformational history of the Larsemann Hills, Prydz Bay; the importance of the Pan-African (500) in East Antarctica. *Antarctic Science*, 5:179~192.
- Dirks P H G M, Hoek J D, Wilson C J L, Sims J R. 1994. The Proterozoic deformation of the Vestfold Hills basement complex, East Antarctica; implications for the tectonic evolution of adjacent granulite belts. *Precambrian Research*, 65:277~295.
- Dirks P H G M, Wilson C G L. 1995a. Crustal evolution of the East Antarctica mobile belt in Prydz Bay; continental collision of 500Ma? *Precambrian Research*, 75:189~207.
- Dirks P H G M, Hand M. 1995b. Clarifying temperature-pressure paths via structures in granulite from the Bolingen Islands, Antarctica. *Australian Journal of Earth Sciences*, 42:157~172.
- Fitzsimons I C W, Harley S L. 1991. Geological relationships in high-grade gneisses of the Brattstrand Bluffs coastline, Prydz Bay, East Antarctica. *Australian Journal of Earth Sciences*, 38:497~519.
- Fitzsimons I C W, Thost D E. 1992. Geological relationships in high-grade basement gneiss of the northern Prince Charles Mountains, East Antarctica. *Australian Journal of Earth Sciences*, 39:173~193.
- Fitzsimons I C W. 1996. Metapelitic migmatites from Brattstrand Bluffs, East Antarctica-metamorphism, melting and exhumation of the mid crust. *Journal of Petrology*, 37:395~414.
- Fitzsimons I C W, Kinny P D, Harley S L. 1997. Two stages of zircon and monazite growth in anatectic leucogneiss: SHRIMP constraints on the duration and intensity of Pan-African metamorphism in Prydz Bay, East Antarctica. *Terra Nova*, 9:47~51.
- Fitzsimons I C W. 2000a. Grenville-age basement provinces in East Antarctica; evidence for three separate collisional orogens. *Geology*, 28:879~882.
- Fitzsimons I C W. 2000b. A review of tectonic events in the East Antarctic shield and their implications for Gondwana and earlier supercontinents. *Journal of African Earth Sciences*, 31:3~23.
- Grew E S, Manton W I. 1986. A new correlation of sapphirine granulites in the Indo-Antarctic metamorphic terrain, late Proterozoic dates from the Eastern Ghats Province of India. *Precambrian Research*, 33:123~137.
- Grunow A, Hanson R, Wilson T. 1996. Were aspects of Pan-African deformation linked to Iapetus opening? *Geology*, 24:1063~1066.
- Harley S L. 1987. Precambrian geological relationships in high-grade gneisses of the Rauer Islands, East Antarctica. *Australian Journal of Earth Sciences*, 34:175~207.
- Harley S L. 1988. Proterozoic granulites from the Rauer Group, East Antarctica. I. Decompressional pressure-temperature paths deduced from mafic and felsic gneisses. *Journal of Petrology*, 29:1059~1095.
- Harley S L, Fitzsimons I C W. 1991. Pressure-temperature evolution of metapelitic granulites in a polymetamorphic terrane; the Roup Group, East Antarctica. *Journal of Metamorphic Geology*, 9:231~243.
- Harley S L, Fitzsimons I C W. 1995. High-grade metamorphism and deformation in the Prydz Bay region, East Antarctica; terranes, events and regional correlations. In: Yoshida Y, Santosh M, eds. *India and Antarctica during the Precambrian*. Geological Society India, Memoir, 34:73~100.
- Harley S L, Snape I, Black L P. 1998. The evolution of a layered metaigneous complex in the Rauer Group, East Antarctica; evidence for a distinct Archaean terrane. *Precambrian Research*, 89:175~205.
- Harley S L. 2003. Archaean-Cambrian crustal development of East Antarctica; metamorphic characteristics and tectonic implications. In: Yoshida M, Windley B F, Dasgupta S. eds. *Proterozoic East Gondwana: Supercontinent Assembly and Breakup*. Geological Society, London, Special Publications, 206:93~130.
- Hensen B J, Zhou B. 1995. A Pan-African granulite facies metamorphic episode in Prydz Bay, Antarctica; evidence from Sm-Nd garnet dating. *Australian Journal of Earth Sciences*, 42:249~258.
- Hensen B J, Zhou B, Thost D E. 1997. Recognition of multiple high grade metamorphic events with garnet Sm-Nd chronology in the northern Prince Charles Mountains, Antarctica. In: Ricci C A, ed. *The Antarctica Region, Geological Evolution and Processes*, Terra Antarctica Publication, Siena, 97~104.
- Jacobs J, Kreuzer H, Weber K. 1995. K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and apatite fission track evidence for Neoproterozoic and Mesozoic basement rejuvenation events in the Heimefrontfjella and Mannfallknausane (East Antarctica). *Precambrian Research*, 75:251~262.
- Kelsey D E, Powell R, Wilson C J L, Steele D A. 2003. (Th + U)-Pb monazite ages from Al-Mg-rich metapelites, Rauer Group, East Antarctica. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 146:326~340.
- Kinny P D, Black L P, Sheraton J W. 1993. Zircon ages and the distribution of Archaean and Proterozoic rocks in the Rauer Islands.

- Antarctic Science, 5:193~206.
- Lanyon R, Black L P, Seitz H M. 1993. U-Pb zircon dating of mafic dykes and its application to the Proterozoic geological history of the Vestfold Hills. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 115: 184~203.
- Liu X C, Zhao Y, Liu X H. 2002. Geological aspects of the Grove Mountains, East Antarctica. *Royal Society of New Zealand Bulletin*, 35:161~166.
- Liu X C, Zhao Z, Zhao Y, Chen J, Liu X H. 2003. Pyroxene exsolution in mafic granulites from the Grove Mountains, East Antarctica: constraints on Pan-African metamorphic conditions. *European Journal of Mineralogy*, 15:55~65.
- Liu X H, Zhao Y, Liu X C, Yu L. 2002. Geology of the Grove Mountains in East Antarctica—New evidence for the final suture of Gondwana Land. *Science in China (Series D)*, 32(6):457~468 (in Chinese).
- Manton W I, Grew E S, Hoffman J, Sheraton J W. 1992. Granitic rocks of the Jetty Peninsula, Amery Ice Shelf area, East Antarctica. In: Yoshida Y, Kaminuma K, Shiraishi K. eds. *Recent Progress in Antarctic Earth Science*, Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 179~189.
- Meert J G, van der Voo R. 1997. The assembly of Gondwana 800~550 Ma. *Journal of Geodynamics* 23:223~235.
- Moores E M. 1991. Southwest U. S.-East Antarctica (SWEAT) connection: a hypothesis. *Geology*, 19:425~428.
- Powell C M, Pisarevsky S A. 2001. Late Neoproterozoic assembly of East Gondwana. *Geology*, 30:3~6.
- Seitz H M. 1994. Estimation of emplacement pressure for 2350Ma high-Mg tholeiite dykes, Vestfold Hills, Antarctica. *European Journal of Mineralogy*, 6:195~208.
- Sheraton J W, Black L P, McCulloch M T. 1984. Regional geochemical and isotopic characteristics of high-grade metamorphics of the Prydz Bay area; the extent of Proterozoic reworking of Archaean continental crust in East Antarctica. *Precambrian Research*, 26:169~198.
- Shiraishi K, Hiroi Y, Ellis D J, Fanning C M, Motoyoshi Y, Nakai Y. 1992. The first report of a Cambrian orogenic belt in East Antarctica—an ion microprobe study of the Lützow—Holm Complex. In: Yoshida Y, Kaminuma K, Shiraishi K. eds. *Recent Progress in Antarctic Earth Science*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 29~35.
- Sims J R, Dirks P H G M, Carson C, Wilson C J L. 1994. The structural evolution of the Rauer Group, East Antarctica: mafic dykes as passive markers in a composite Proterozoic terrain. *Antarctic Science*, 6:379~394.
- Stüwe K, Powell R. 1989. Low pressure granulite facies metamorphism in the Larsemann Hills area, East Antarctica; petrology and tectonic implications for the Prydz Bay area. *Journal of Metamorphic Geology*, 7:465~484.
- Thost D E, Hensen B J, Motoyoshi Y. 1994. The geology of a rapidly uplifted medium and low pressure granulite facies terrane of Pan African age: the Bolingen Islands, Prydz Bay, East Antarctica. *Petrology*, 2: 293~316.
- Tingey R G. 1991. The regional geology of Archaean and Proterozoic rocks in Antarctica. In: Tingey R J. ed. *The Geology of Antarctica*, Oxford University Press, Oxford, 1~73.
- Torsvik T H, Carter L M, Ashwal L D, Bhushan S K, Pandit M K, Jamtveit B. 2001. Rodinia refined or obscured; palaeomagnetism of the Malani igneous suite (NW India). *Precambrian Research*, 108: 319~333.
- Wilson T, Grunow A M, Hanson R E. 1997. Gondwana assembly: the view from southern African and East Gondwana. *Journal of Geodynamics*, 23:263~286.
- Yoshida M, Jacobs J, Santos M, Rajesh H M. 2003. Role of Pan-African events in the circum-east Antarctic orogen of East Gondwana; Supercontinent assembly and breakup. In: Yoshida M, Windley B F, Dasgupta S. eds. *Proterozoic East Gondwana: Supercontinent Assembly and Breakup*. Geological Society, London, Special Publications, 206:57~75
- Yu L, Liu X H, Zhao Y, Ju Y, Liu X C. 2002. Metamorphism of mafic granulites in the Grove Mountains, East Antarctica. *Acta Petrologica Sinica*, 18(4): 501~516 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Y, Song B, Wang Y. 1992. Geochronology of the metamorphic evolution of the larsemann Hills, East Antarctica. In: Yoshida Y, et al. eds. *Recent Progress in Antarctic Earth Science*. Terra Scientific Publishing Company, Tokyo, 155~161.
- Zhao Y, Liu X C, Song B, Zhang Z, Li J, Yao Y, Wang Y. 1995. Constraints on the stratigraphic age of metasedimentary rocks of the Larsemann Hills, East Antarctica: possible implication for Neo-Proterozoic tectonics. *Precambrian Research*, 75:175~188.
- Zhao Y, Liu X C, Fanning C M, Liu X H. 2000. The Grove Mountains, a segment of a Pan-African orogenic belt in East Antarctica. *Abstract Volume of 31th International Geological Congress*, Rio de Janeiro, Brazil.
- Zhao Y, Liu X H, Liu X C, Song B. 2003. Pan-African events in Prydz Bay, East Antarctica, and their implications for East Gondwana tectonics. In: Yoshida M, Windley B F, Dasgupta S. eds. *Proterozoic East Gondwana: Supercontinent Assembly and Breakup*. Geological Society, London, Special Publications, 206, 231~245.
- Zhang C. 1999. A primary discussion on the intraplate orogenic belt. *Earth Science Frontiers*, 6(4):295~308 (in Chinese with English abstract).

The Pan-African Prydz Belt in East Antarctica: a Collisional Orogen or an Intraplate Orogen

LI Miao, LIU Xiaochun

Institute of Geomechanics, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100081

Abstract

The Prydz Belt is one of the most important Pan-African mobile belts within the East Antarctic Shield. The belt provoked great interest to many geologists in recent years because it was related to the formation and evolution of the Gondwana supercontinent during Cambrian. However, at present the tectonic attribute of the

Prydz Belt remain highly debated. Some argue for an intraplate orogen, whereas others argue for a suture. In this paper, all the available data reported in the Prydz Bay—Grove Mountains area is presented and reviewed. The general features of the Prydz Belt are as follows. ① It juxtaposed different terranes with different geological histories during the Pan-African tectonism. ② It suffered from an earlier compressional deformation at low- to mid-crustal levels and subsequently followed by an extensional collapse at mid- to upper-crustal levels. ③ The whole Prydz Bay area recorded a clockwise $p-t$ evolution with late near-isothermal decompression and anatexis. In addition, Paleomagnetic data showed that the apparent polar wander path for the India and Australo-Antarctic continental blocks did not form a spatially and temporally coherent pattern until c. 550 Ma. These features favor the Prydz Belt representing a collisional orogen between India and East Antarctica formed during the Pan-African period though there is no direct evidence such as ophiolite, island-arc accretionary complex and high-pressure metamorphics. Accordingly, the East Southern Antarctic shield was finally amalgamated by different terranes during the Pan-African period.

Key words: East Southern Antarctica; Prydz Belt; Pan-African period; continental collision