

从巴西东北部看南美与非洲的最终分离

H. M. 兰德, J.M. 马贝森

引言 南美和非洲这两个大陆的分离,在中部位置有过延缓,这是一种古老而实际已被放弃的见解,但近年来却不断获得支持的新证据。据推测,巴西东北部累西腓与若昂佩索阿之间的沿海地区(图1A),就是南美和非洲的最后通道。该区东侧有一个窄长的沉积盆地,宽仅十公里,沉积物时代为坎盘期(Campanian)至古新世;南北两侧还分布着另外一些大西洋陆缘盆地(图1B),从沉积物时代看,它们形成的时间要早些。

我们知道南大西洋的张开起源于南、北两条裂谷的扩张,而根据古生物资料分析,南美与非洲通道的最终断开可能在白垩纪末。

无论在时间上还是在空间上,很多人都不同意上述陆桥形式延续通道的见解。有的认为两个大陆的最后分离位置应更为靠北,即在赤道大断裂附近;有的提出两个大陆的某些部分甚至在晚白垩世还靠得很近,因而试图用岛屿分布来解释大西洋两岸关系密切的生物种(如Reyment等,1976,1980)。他们认为这些岛屿大致相当于巴西南部部和纳米比亚之间的里乌格兰德海隆和鲸鱼海脊。还有人根据深海钻井计划的资料断定不存在延续通道,他们认为大西洋在早白垩世即已完全张开。这些研究者往往夸大手头岩石或化石标本的重要性,而不知道这些标本的时代大多很不确切。有时他们也可能片面强调其它数据,但从不对所能得到的全部资料综合加以研究,因而他们的观点都有片面之嫌。

这里有必要提一下Beurlen(1976)的观点。他虽未得出陆桥形式延续通道的结论,却较为详尽的分析了巴西东北部的构造变格运动。他指出:(1)阿尔比期(Albian)的海进达到了南部的塞尔希培——阿拉戈斯盆地和北部的巴雷林哈斯盆地(图1B),此时古老区域断裂上的剪切运动全面铺开;(2)南美地块的向西漂移使主要区域断裂(包括伯南布哥断裂)发生强烈剪切(图2);(3)土伦期的海进在北部达到了波蒂古尔盆地;(4)土伦期以后两个大陆间只剩下巴西东北部一条狭窄的联系通道了;(5)只是到梅斯特里期,大西洋才迅速加宽,南美、非洲间的动物交换遂完全中断。

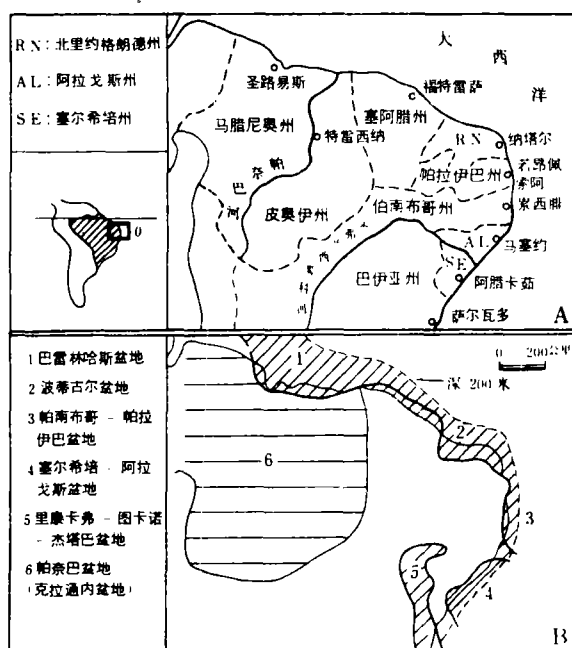


图1 巴西东北部的地理位置(A)和沉积盆地的分布(B)

很显然，全球性的海进、海退事件与本文的研究关系密切。海进时往往留下了丰富的沉积学和古生物方面的资料，而海退阶段的信息总是不易保存或根本不存在。为了下面叙述的方便，表 1 列出了巴西东北部白垩纪的几个海进和海退阶段以及有关的地层和地质事件。

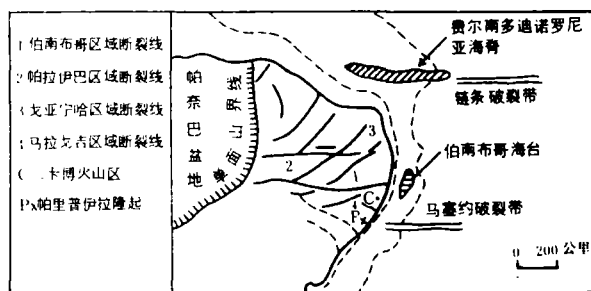


图 2 研究地区的构造线和其他重要构造形迹

大陆拼接 恢复南美和非洲两个大陆漂移前邻接位置的流行拼合方案，

存在一些难以解释的问题。图 3 是根据著名的布 拉德拼接 (Bullard 等人) 修改的示意图。从中可以看出，两个大陆在巴西凸部有明显的重叠，南北两侧形成空白。如果设想在两个大陆分离前即已存在深大裂谷，就可以解释这些空白的出现。但更为棘手的是如何解释这一大面积重叠，因为这意味着在分离后大陆有了增生。在尼日尔河三角洲、贝努埃地堑、喀麦隆——恩冈兰德雷区域断裂线、伯南布哥海台及伯南布哥区域断裂线所有这些地质形迹中，显然只有第一个属于分离后形成的形迹，因而对大陆的增生有一定意义。但即是如此，尼日尔河三角洲也不足以解释十万平方公里的重叠面积。

陆桥模式 由于以往的多种观点无法解释巴西凸部独特的重力和地磁异常，也不能说明布拉德拼接大面积的重叠，所以本文作者之一 Rand 在 1976 年提出了新的陆桥模式。图 4 是该模式的示意图。(A) 表示南美和非洲分裂前的情形。那时只有东西走向的区域大断裂。接

表 1 巴西东北部白垩纪的海进、海退阶段和累西腓——若昂佩索阿地区的地层及地质事件
(地质年代据 Van Hinte, 1978)

		百万年	百万年	百万年	
第三纪					
晚白垩世	赛诺期	65	67	马利亚法林哈组灰岩 (古新统)	
		70	海进	72	格雷马姆组, 磷酸盐灰岩
		78	海退		
		82		贝比雷勃 / 意塔马拉卡组, 砂岩	陆桥断开
		86		85	?
	尼欧克姆期	92	海进	92	
		100	海退	100	卡博火山作用
		102	海进	106	
		115			114
		121			
早白垩世	126				
	131				
	135				
侏罗系					

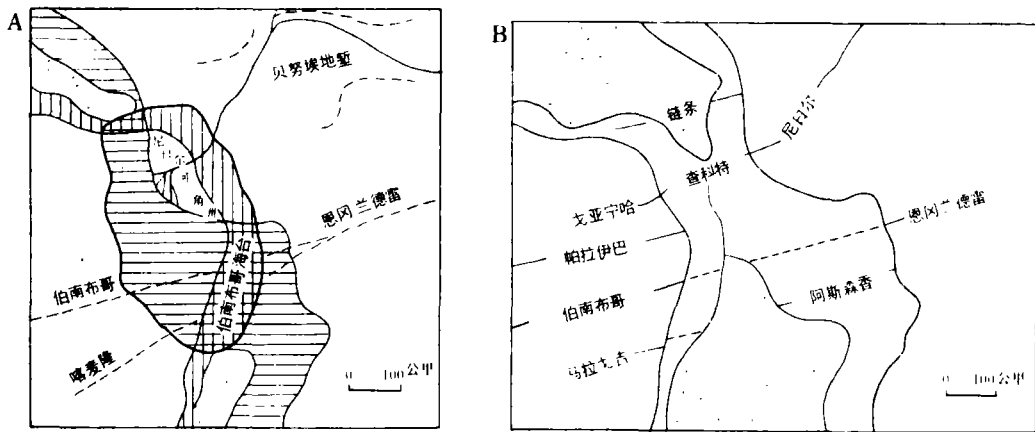


图3 A: 巴西凸部与尼日利亚的重叠(粗线圈住部分)、小圆点部分是拼接时的空白
(据位拉德拼接修改)
B: 陆桥最终断开前, 巴西凸部与尼日利亚在某个时期的相对位置(据Rand, 1978)

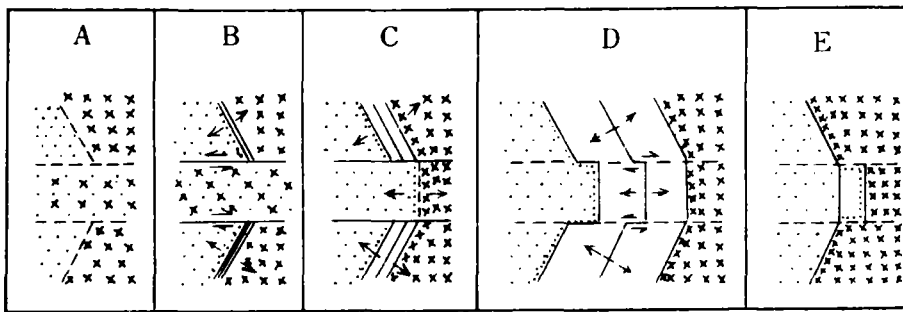


图4 陆桥模式。(据Rand,)

着, 两个原始海洋(即原始南、北大西洋)以窄长裂谷的形式“抵达”巴西凸部, 同时裂谷通过海底扩张开始加宽(B)。由于横向断层的运动比陆桥的纵向断裂容易得多, 所以陆桥两侧的分离加宽势在必行。这时的横向断层均以横推断层形式活动, 其中包括伯南布哥区域断裂(图2)。这种横推活动符合巴西凸部的重力和地磁异常的特点。这些横推断层的活动, 有助于陆桥南、北两侧的海底扩张。(C)表示陆桥的完全断开。在此之前, 陆桥上部地壳很早即已张开。陆桥断开后, 横推断层变为转换断层。此后这些断层的活动就局限在断错海脊间的破裂带内(D)。这时如把两个大陆拼合在一起, 必然会出现布拉德拼接(E)。其原因在于巴西凸部的陆桥地块在最终断开前, 并未参与海底扩张, 因而在拼接中显得向前突出, 无法恢复它与邻近地块的原始相对位置。

沉积学资料 大西洋沿岸盆地的沉积记录, 一般都明显可见裂谷张开和新大洋形成等不同发育阶段的特征。裂谷阶段的主要岩性为页岩、粉砂岩和砂岩; 原始海湾存在过的位置常常有厚层蒸发盐岩和陆架碳酸盐岩; 开阔大洋阶段的沉积物底部为碳酸盐岩, 上部是碎屑岩。但在累西腓——若昂佩索阿沉积带, 岩性分布存在引人注目的差别。那里整个沉积层序的底部虽然也是普通的碎屑岩, 但接着是一套以碳酸盐为主的地层, 其下部有两种沉积相: 海进

钙屑灰岩相和含磷酸盐相，向上渐变为生物微晶灰岩（格雷马姆组）

含磷酸盐相的层序由不连续的砂质——粘土质的磷钙土透镜体组成，伴有少量碳酸盐成分。层厚不定，从几厘米起，最大可达4米。 P_2O_5 的含量变化很大，为1%~35%。含磷丰富的部分是含磷酸盐的砂岩和钙屑灰岩。砂子主要有石英、微斜长石及方解石和白云石的六面体晶体，还有少量的钙质结核。基质成分主要是伊利石变来的粘土、磷酸盐化的有机质、方解石、白云石以及含磷酸盐的结核和颗粒，均是化学及生物化学作用的产物。真正的磷酸盐是氟磷灰石、磷酸盐化微体化石（有孔虫）以及粪粒和藻块。

格雷马姆组的生物微晶灰岩含有丰富的有孔虫，浮游型超过底栖型，同时可见不规则的粘土薄层分布在灰岩块体中。这组地层的底部，出现强烈的白云岩化。丰富的浮游型有孔虫似乎表示沉积时水体较深，但大化石和少量遗迹化石的存在又说明水深不大。这一矛盾现象以及磷酸盐的成因和微晶灰岩的成分，都说明当时这个地区对着一个海槛（Sill）或陆桥存在很强的上升流。

人们对于磷钙土的沉积环境已有相当的研究。一般来说，它们形成于浅海环境，靠近大陆边缘，而且往往分布在海进层序的底部；同时气候温暖，具有深层的上升流，多位于纬度为20°的信风带中；邻近的大陆相当干燥，碎屑物质的来源基本断绝，而底层水温度和PH值都较高，含盐量也比海岸附近的正常值稍大；最后还要有丰富的藻类，它们能对海水发生磷酸盐同化作用，但对底栖生物的发育有妨碍，因而动物种比较矮小。

格雷马姆组沉积学及古生物特征进一步证实了上述结论。当海进推进到海岸地区时，如水体动荡，沉积钙屑灰岩，如水体平静，则沉积磷钙土。马刀虫科有孔虫*Fallotia*和藻类构造的存在以及石英颗粒分选不好，都是这种浅海环境的证据。水体的间断动荡可以粉碎动物骨骼，将磷酸盐的结核磨圆并形成集合体，最终使磷酸盐富集在一定地段。

由于磷酸盐的积聚与上升流有关，而上升流又受海岸线位置控制。因此，根据磷酸盐的产状，有可能确定古海岸的形态。图5是巴西沿岸含磷酸盐砂岩和灰岩的实际分布以及推测的当时海岸线的位置。从海岸线轮廓看，磷酸盐沉积时（梅斯特里期）巴西的东北海域象是狭窄的水盆，可能部分为海槛（或陆桥）所封闭。到微晶体岩沉积时，虽然仍存在上升流，但陆桥或海槛处于沉降中。达宁期一开始，完整的表层大洋环流似乎已经形成，这从古新统马里亚法林哈组的海退沉积中可以找到证据。

古生物资料 巴西和非洲的大化石组合具有明显的相似性。塞尔希培——阿拉戈斯盆地的发育持续到土伦期，那宛的菊石属、瓣鳃纲及其它门类的化石均与喀麦隆、加蓬和安哥拉（属于非洲——印度生物地理区）相似。而在波蒂古尔金盆地中，这一时期的大化石组合纯粹属于北大西洋（特提斯）生物地理区。显然这两个地区间当时还没有生物交换。在格雷马姆组灰岩的梅斯特里期动物群中，北美的成分极少，与非洲沿岸的动物地理联系仍占优势。该组地层中存在的大量滨海种，在安哥拉和加蓬的梅斯特里阶中也同样存在。这些种的动物不可能越过深大洋，因而当时南北大西洋的海面虽已沟通，但早先的陆桥处肯定还处在又窄又浅的状态。到古新世时，局面开始改观。马里亚法林哈组含有种类繁多的动物群，绝大多数与中、北美的古新统化石一致，而与非洲古新统的情形相去很远。

微体古生物的资料也值得注意。有人曾试图建立巴西陆架阿普第阶和中新统之间的浮游有孔虫分带，结果发现了一些发育极差、很难划分的结合。据分析，这可能是北大西洋间的生态障壁造成的。该障壁应是一个狭窄的海洋通道，海水较浅，它是在坎盘期和梅斯特里期消失的。Tinoco（1975）在研究西印度生物地理区时，发现微体动物组合可以划分南、北

大西洋两个生物地理区，并可沿用到康尼阿克阶。两区由巴西东北部和加蓬附近的障壁分隔。但在梅斯特里阶，两区的有孔虫不管是浮游的还是底栖的，都混成一体了。巴西的介形类组合在梅斯特里阶以前，具有典型的南大西洋特征，但在梅斯特里阶以后，加勒比地区和墨西哥湾沿岸的影响日益明显。

花粉和孢子是大陆环境的产物，但这方面的资料对本文的研究也有启发作用。根据巴西东北部有关盆地的孢粉分析，可以得出以下认识：（1）阿尔必阶——森诺曼阶的微植物带含有带弹丝的种（*elater-bearing species*），该带从南美北部开始，经过中、北非，一直绵延至中东；（2）巴西和西非的阿尔必期——森诺曼期的花粉组合几乎完全相同，而土伦期——赛诺期的花粉组合存在差异。Iima和Boltenhagen（1981）还对南大西洋两岸白垩纪微植物群的演化作了对比研究，结果表明两地重要微植物组合的出现和灭绝具有类似的趋势。大约到梅斯特里期，出现一种新情况，即多数种的分布范围都比较有限。根据含弹丝孢子的分布特征，可以断定起码在森诺曼期以前，两个大陆相互靠得很近，或者是连在一起的。

海洋学资料 有关的海洋学资料甚多，但观点也不大一致。这里只介绍一些有代表性的资料。

据Asmus和Carvalho（1977）报道，在伯南布哥海台北侧1500~2900米深度曾收集到碳酸盐岩标本，化石（藻类、软体动物、海胆和底栖有孔虫）鉴定的结果表明这些沉积物属于阿尔必——森诺曼阶，可能是在浅水泻湖环境中形成的，具有良好的环流和中—高能量。

Melguen等（1978）根据深海钻井计划的资料，指出早白垩世的南大西洋由两个窄海盆组成，中间有里乌格兰德海隆和鲸鱼海脊。他们认为南大西洋与南冰洋之间的自然环流，在早白垩世即已形成，而与北大西洋的环流到晚白垩世才出现。在白垩纪的大部分时间里，南大西洋具有自己的海洋学特征，只是到晚白垩世，它才变为世界大洋体系的一部分。而南冰洋深层环流是到渐新世才出现的，这是沉积相分布发生重大变化，并宣告现代大洋环境的建立。

穿越大西洋的破裂带与陆桥的关系十分密切，它们表现了大陆裂离以来转换断层的逐步移动。Asmus和Carvalho（1977）对一条地震勘探发现的破裂带作过分析研究，这就是“马塞约破裂带”。他们认为这是一条不规则的基底破裂带，上面有沉积物覆盖。在陆架地区，通过等深线拐点及陆架破碎，可以确定其存在，而在陆上，帕里普伊拉隆起就是它存在的标志（图2）。马塞约破裂带位于设想的陆桥以南，对伯南布哥——帕拉伊巴地区成为与众不同的沉降甚少地块，显然起过相当的作用。

Berggren和Holliter（1971）根据海进时代和有关资料，提出南、北大西洋间表层水体的流通从晚森诺曼期（95百万年）以来就已存在，这导致了动物交换的开始。只有海槛（转27页）

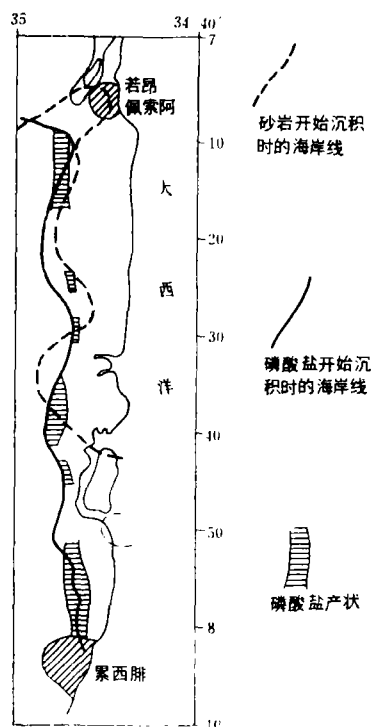


图5 累西腓——若昂佩索阿沉积带的桑托期（砂岩开始沉积）和早梅斯特里期（磷酸盐开始沉积）的古海岸位置（据Amaral等资料，1977）

这样的异常是由于大气环流异常、高压带和气旋活动的最活跃位置发生错动而造成的。遗憾的是，为什么活动程度和位置会产生这样的错动，还不清楚。这种研究是今后的巨大课题。

1972~73年大旱灾后，虽然降了一些雨，但从20世纪以来的平均值来看，也是在“平均值以下”。总之，在萨赫勒地区，绿色地区略为向北后退了。萨赫勒在阿拉伯语中是“岸”的意思，指绿地的岸。人们向北迁移，到1984年，那里又发生了旱灾。人口的自然增殖，再加上四周条件更差地区的人们，由于旱灾而丧失土地也逃荒到这里，以致人口膨胀、粮食不足、无柴、无家畜，困苦不堪，人们成了饿殍而不得不南下逃荒。

据联合国环境计划，在萨赫勒地区，已有150万公顷土地沙漠化。撒哈拉沙漠北侧情况稍好些，但也有10万公顷土地沙漠化。这样撒哈拉沙漠日益扩大。土地这样一年一年地沙漠化，怎么得了。再加上人口增加和过度放牧，即将变成沙漠的土地达690万公顷之多。

今年(1985年)4月，埃塞俄比亚降雨了。但是，雨又下过头，洪水泛滥，连帐篷也冲走了。大雨引起了强烈冲刷，田上虽然修了埂，但种子已吃完，连播种也进行不了。

五、尾语 前述非洲旱灾、变干现象归纳如下：

(1) 在地质时代、历史时期，萨赫勒地带是干燥、湿润交替出现。最近100年左右的时期是比较干燥的时期，但与过去的地质时代最干燥时期相比较，还不算干燥。

(2) 萨赫勒地带呈东西带状扩展，西部稍偏向高纬度，东部稍偏向低纬度。

(3) 最近干燥、湿润的小波动，大致有10~20年的周期。

(4) 在湿润、雨量方面东部更少，最大年雨量观测值在10毫米以下，年降雨日1日以下的地区很广。

杨郁华译自《日本の科学者》，1985年·V. 20·No. 9

(上接32页)或陆桥)模式才能解释只有表层环流而无深层交换的原因。可惜海退阶段缺失微体动物记录，当时表层水的交换可能中断得相当彻底。至于深海环流，不少研究者认为形成于早第三纪以后，还有人提出60~50百万年才断开的里乌格兰德海隆和鲸鱼海脊就是阻挡深海环流的障壁。但这种认识似乎与沉积学资料矛盾，因为只有梅斯特里期出现北向流动的深海环流，才会在累西腓—若昂佩索阿地区聚积磷酸盐沉积物。

小结 本文综合分析了各种研究领域的现有资料和认识，充分验证了巴西东北部在两个大陆分离过程中所处的地位，主要结论可以归纳如下：(1) 所有研究者都承认在南大西洋的张开过程中，存在一个或多个障壁，妨碍了深大洋自由环流的形成，同时也为南美、非洲这两个分离大陆间底栖生物和植物的交换提供了通道；(2) 障壁的具体位置以及最后消失的时间，尚未形成一致的见解；(3) 从地球物理、沉积学以及古生物学的观点出发，再对照巴西东北部独特的地理位置，我们相信在白垩纪结束前，这里存在着一个部分出露的联结西非的桥陆。虽然南面里乌格兰德海隆——鲸鱼海脊的岛链也可能存在，但有利于巴西东北部陆桥的证据要多得多。

朱起煌摘译自《Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology》，V. 38, No. 3-4, 1982, 7.