

试论冈瓦纳古陆的形成和裂解

钱维宏

(北京大学地球物理系)

摘要 本文探讨了冈瓦纳古陆的形成和裂解的问题。首先,考虑地球的形成存在过天文演化和地质演化的阶段。在天文演化阶段,冈瓦纳古陆形成于南极;在地质演化阶段,南半球表层液核流体获得向东北的速度,同时导致了冈瓦纳古陆的分裂和漂移。漂移大陆块的北边缘到达表层液核流体辐合带的位置,这一辐合带沿地中海、青藏高原南边缘、斐济、加勒比海、地中海一线。大陆块到达低纬后又经过了东西方向的漂移,并且形成了洋中脊。

关键词 冈瓦纳 地球演化 辐合带

1 冈瓦纳古陆动力学研究的一种思想

古陆的概念是魏格纳根据各大陆几何形态的边缘吻合特征提出来的假说,随着全球地球科学研究的进展,这一假说正被越来越多的事实所证实(刘小汉等,1991)^[1]。但是,大陆是怎样形成的?是否存在古陆核的增生过程?古陆形成后又是怎样裂解的?促使其裂解的机制是什么?或者怎样解释驱动大陆漂移的力?这是自魏格纳提出大陆漂移说以来一直未能解决,也是当前地质界格外关注的问题。地学领域各个学科中都不同程度地面临着一个核心问题,那就是地球本身的形成机制问题。

冈瓦纳古陆的地理范围包括现在的南极洲、南美洲、非洲、阿拉伯半岛、马达加斯加、斯里兰卡、印度、澳大利亚和新西兰等陆块。作者曾定性分析得出,在地质时期古地磁赤道曾位于地中海、青藏高原南边缘、斐济、加勒比海、地中海一线^[2],这是地球地质演化早期岩浆圈层的表层辐合带位于这一位置的缘故^[3]。这一岩浆流体辐合带近似在地球的一个大圆上,辐合带两侧的半球上大陆面积近似相等。这个辐合带南侧的大陆为冈瓦纳古陆的分裂部分,辐合带北侧的大陆为劳亚古陆的部分。根据冈瓦纳各大陆板块两两之间的边缘缝合关系,并以南极大陆板块为参照系,把南美大陆南端的合恩角连同南美大陆板块一起拉回到南极大陆边沿的凹进部分的罗斯海去,把非洲大陆南端的厄加勒斯角连同非洲大陆板块一起拉回到南极大陆边缘的另一凹进部分威德尔海去,再把澳大利亚大陆板块拉回到南极大陆毛德皇后地与威尔克斯地的海岸附近去,我们就能得到一幅冈瓦纳古陆的拼合图。由这个拼合图到现今几个大陆块的位置作漂移矢量线,发现南半球的这些大陆是相对南极向东北方向呈辐射状漂移开极地附近的。显然,岛屿多位于北半球大陆块的东南侧和南半球大陆块的东北侧。对冈瓦纳古陆的这样一个拼合和分裂漂移过程的描述说明,大陆块的漂移是有方向性的,辐合带以南的大陆板块向东北方

向漂移,并且不能越过这一辐合带。从定性的角度看,地球自转是长期减慢的,用缓变流体因地球自转减慢引起的附加力来解释大陆漂移的方向性,正好可以解释冈瓦纳古陆的分裂和漂移趋势^[2],但是,这个力太小了。

近年来笔者从行星地球演化的观点出发,考虑演化过程中地球各圈层之间角动量的耦合交换,得到了描写某一圈层相对另一圈层运动变化的数学表示。从演化的角度分析这一数学表示,就赋予我们认识冈瓦纳古陆以及全球大陆的形成和漂移以新的理解。

2 地球圈层之间的作用应力

我们知道,地球由地心向外总体上看是成层的,如大气圈、水圈、岩石圈、地幔圈层、外核岩浆圈层和内核固体部分。在不同的圈层之间都存在着界面,人们较好地认识了地气界面、海气界面以及海洋与地壳的界面,因为这些界面是人类能够直接测量的,而地球内部的一些界面是不能直接测量的。能直接测量的那些界面,人们知道是水平不平坦的,同时,这个界面上热力和其它力的物理属性也是不均匀的。近年来,人们认为地球内部圈层界面也不是均匀的,在这些圈层之间也存在着相对运动。迄今,我们较多地认识了大气、海洋和地壳三者之间的相对运动。虽然我们不能直接测定地球内部圈层之间的相对运动,但地球磁场及其变化就反映了地球内部圈层的相对运动。圈层间有相对运动的存在和质量的交换,必然导致圈层间角动量的交换。对某一圈层而言,其内部还存在着角动量的再分配问题,这将导致同一圈层在水平面上的相对运动。这种情况如果发生在大气中,则存在着东风带和西风带强度和位置的变化;如发生在地壳中则会因板块不同部位的水平运动导致大陆板块边缘的造山运动;如发生在岩浆流体中,则会出现全球和局部磁场的强度和方向的变化。

如何描述某一圈层的相对运动呢?我们取地球上所有的圈层在内构成一个系统,这个系统从地心到大气顶。假设这个系统的状态可由 R 个变量来描述,这些变量,如任一圈层中的温度、压力、密度、速度等,所有 R 个状态变量的集合为 $S = (d_1, d_2, \dots, d_R)^T$ (这里 T 为矩阵转置), d_1, d_2, \dots, d_R 分别为温度、密度和流速分量等,其中任一变量 $d_p = \{d_p(i, j, k)\}; i, j, k = (1, 2, \dots, \infty)$ 为描述任一分子的空间坐标。大多数动力系统都是非线性的,存在一个非线性算子 N 和一个线性算子 L ; 系统还受外力的作用 F (矩阵形式), 如太阳辐射, 质量通量, 日、月和其他行星的引潮力等。于是, 这一系统的任一行行为 (无论是结构还是对流) 都包含在下列数学模型

$$\frac{\partial S}{\partial t} + (N + L)S = F \quad (1)$$

中。(1)式中 S 描述的是 R 维相空间的一个点, S 随时间的变化是外部强迫 F 和内部动力学 $(N + L)$ 作用的结果。在任一时刻 t_0 相空间中只有一个点 S_0 , 随着时间 t 的变化, 相空间中的 S 就形成了一条轨迹。

(1)式是一个确定性的方程,只要知道了系统内部的作用关系 $(N + L)$ 和外强迫 F , 则我们可以确切地知道整个系统 (包括大气、海洋和地球内部) 在过去、现在和将来的状态 (或结构) 了。当然,地球大陆的早期状态,现在为什么有这样的分布和未来的发展也就可确定了。实际上,自然的变化就是遵循 (1) 式,包括宇宙及太阳系的演化也是这样,只不过人类对 (1) 式中的 $(N + L)$ 和 F 的认识太少,很多还是一无所知。

在地球系统的所有圈层中,人类对大气的认识要比对海洋的认识多,对海洋的认识又比对

地球内部的认识多。对大气来说,我们可以写出比较明确的形式,如只考虑大气中的大尺度水平运动的动量和气压 $S = (u, v, p)^T$, 则

$$N = \begin{vmatrix} \Lambda & 0 & 0 \\ 0 & \Lambda & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda \end{vmatrix}, \Lambda = u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y},$$

$$L = \begin{vmatrix} 0 & -f & \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial x} \\ f & 0 & \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial y} \\ 0 & 0 & \frac{1}{d} \frac{\partial}{\partial z} \end{vmatrix}, F = (f_x, f_y, -g)^T$$

这里,我们考虑在局地切平面上(更一般地应写在球面上), x 沿纬圈向东为正, y 沿经圈向北为正; u, v 分别为 x, y 方向的风速; z 指向天顶为正; $f = 2K \sin h$ 为 Coriolis 参数; d 为密度; f_x, f_y 分别为 x 方向和 y 方向上大气所受到的地球表面摩擦力项; g 为重力。这时方程(1)式的坐标系是建立在以 K 旋转的地球上的。

在月-年际时间尺度内,人们发现大气与固体地球之间存在着角动量守恒交换^[4,5,6]。特别在月到年时间尺度内,Rosen(1993)总结认为大气西风角动量的异常部分与固体地球的角动量异常是守恒的。于是,我们曾用固体地球自转速度的变化 dK/dt 来表示地球与大气之间通过力矩(山脉力矩和摩擦力矩)形成的动量交换,我们可以称由此力矩作用于大气的力为圈层角动量交换应力,主要是纬向分量

$$f_x = - \frac{I_e}{I_a} \frac{dK}{dt} r \cos h \quad (2)$$

式中: dK/dt 为月-年时间尺度内的地球自转速度变化; I_e, I_a 分别为固体地球和大气的转动惯量; r 为地球半径; h 为地理纬度。(2)式中含 $\cos h$ 表示动力和热力粗糙度是纬度的余弦函数,赤道最大,极地为零。

地质上称这样的作用力为应力。我们一般用 $T = I_e/I_a$ 表示两个圈层(固体地球与大气)转动惯量的比值。由于山脉力矩与水平压力梯度有关,于是在静力平衡条件下(1)式可写成(略去缓变流体的平流项)

$$\frac{\partial u}{\partial t} = 2K \sin h v - T \frac{dK}{dt} r \cos h \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} = - 2K \sin h u \quad (4)$$

根据固体地球和大气转动惯量的关系, $T \approx 0.569 \times 10^6$,可见固体地球的微小变化可引起大气的巨大变化。经分析,这一角动量交换应力与地转偏向力有相同的量级^[5]。

这里专门描述地-气之间的角动量交换是不适宜的,我们仅仅是借用这一直观的关系研究地球内部的圈层作用。

3 冈瓦纳古陆的形成

我们按照星云演化的观点推测:太阳系的演化过程中经历过象现代银河系这样的阶段,当太阳刚形成时,太阳赤道面内有如现代土星光环那样的星云结构。由现代太阳系中各行星的公

转速度分布,发现它们的线速度是随半径增大递减的。可以认为,当时星云受引力波的作用,在离太阳线速度递减的大前提下,在冥王星半径内有七个线速度波动,地球胚胎位于第二个波峰的左侧,在波峰到波谷之间形成了若干胚胎,最后只有一个胚胎发展成地球,另一个胚胎相对地球有了一定的绕转速度,它就是月球。地球和月球形成时,太阳系中其他行星和卫星也形成了。我们把地球从胚胎增长为地球的这一时期称为地球形成的天文演化阶段。用冥王星半径内星云速度分布的七个波动可以解释正转行星和逆转行星相间分布的事实。与地球相邻的金星是在星云线速度波动减小区(波峰右侧)中形成的,故它的自转方向与地球相反。

在天文演化阶段的初期,星云温度较低,胚胎增长是由陨石质块组成的,小胚胎被地球胚胎吸引过程中表面温度不断升高,从某一时刻开始表层为高温液态,而中心部分仍为固态。地球表面也曾发生过热核反应,使表层形成完全熔融的状态,这就是现在地球内部的岩浆圈层。在地球胚胎重力场的作用下,地球胚胎一边增长,一边发生重力和热力的对流调整(成层),于是内部固核得到角动量,旋转加快。

考虑在地球天文演化的后期,不再有明显的星云(陨石)被地球吸引(或撞击地球),此时可把固核和其上的岩浆流体组成一个角动量守恒的系统。在此系统中,重力和热力的调整将重金属的成分沉降到固核的表面,结果使固核的角动量增大,即固核加快旋转。由角动量守恒关系和圈层之间的角动量交换应力,我们把坐标建立在固核上。于是,描写岩浆圈层相对固核运动的方程形式就是(3)和(4)式,但这时的参数 $\tau = \frac{I}{I_1}$,为固核与岩浆圈层转动惯量的比。在固核旋转加快,即 $dK/dt > 0$ 时,南半球岩浆流体的质点在这一应力和地转偏向力的作用下,方向指向西南,而北半球流体质点的运动方向指向西北。于是,固核旋转加快的结果,表层较轻的元素将集中到南北两极附近。固体部分旋转加快呈扁球状,但表层流体在位势面上极地高于赤道。

地质演化的开始标志着地球冷却的开始,冷却的结果在地球表面形成一相对岩浆圈层薄的岩石圈。这可能就是40亿年前形成的最古老的大陆地壳。有两方面的原因可以导致极地冷却比赤道快:外部原因是接受的太阳辐射极地小于赤道;内部原因是极地为辐合下沉区,表层冷的物质下沉。因此,极地地壳增厚快于赤道,也高于赤道;后来形成的水集中到赤道低纬地区,大气也形成了。在地球的表面,低纬是环流的海洋带,最深的海洋在赤道上,两极各有一个球冠大陆,南半球的就是冈瓦纳古陆,北半球的是劳亚古陆。整个地球可以分成内部的固核、岩浆流体圈层和较薄的地壳岩石圈层、地壳外的水圈和大气圈。

4 冈瓦纳古陆的裂解

在地质演化阶段的早期,地球系统为一个角动量守恒系统。此时,液体流体表现为高纬地区相对中、低纬地区冷。研究海洋的人发现,海洋中的温热带环流的形成机制与大气中温热带环流的形成有所不同,作为海洋流体,冷海水的下沉驱动了海洋环流(NGCS, 1991)^[7]。于是,高纬的岩浆下沉支在固核的表面流向中纬度过程中,又受地转偏向力的作用,北半球低层岩浆流体的运动方向指向西南,南半球低层岩浆流体的运动方向指向西北。岩浆流体在低层的向西运动通过摩擦作用导致固核旋转减慢,而表层岩浆流体得到向东的运动速度。需要注意的是,极地下沉流体在旋转偏向力作用下到达不了赤道附近,即形成不了极-赤环流。我们可以描述这一环流在三维空间中的大致结构:冷的环流从高纬下沉后沿流体低层向中纬流动,在旋转偏向力

作用下在低层有继续向西的运动分量;这一向西的运动通过摩擦导致了固核的角动量减小,液核角动量增大,经过这一角动量交换的流体到达中纬度后形成一个回路上升到表层,即表层流体具有向东的运动;表层向东运动的流体在旋转偏向力的作用下有向赤道运动的分量,所以表层流体能够形成一个赤道辐合带。从固核与液核两个部分来看,固核失去了角动量,液核整体得到了角动量。考虑到在太古代初期地壳较薄,即地壳的质量比固核或液核要小,在液核与固核构成的封闭系统中,角动量守恒交换的结果南半球表层的岩浆流体向东北运动,北半球表层的岩浆流体向东南运动。岩浆表层流体的水平运动必然通过摩擦对地壳产生应力作用,也同时改变着液核和地壳的角动量,摩擦作用的结果地壳发生裂解。南、北半球分裂开的情形如图 1 所示,北半球的劳亚古陆分裂成了四个大的板块,南半球的冈瓦纳古陆分裂成了五个大的板块。两半球古陆的分裂并不与极地对称。总体上说,南半球大陆受岩浆流体作用向东北、向赤道漂移,北半球大陆向东南、向赤道漂移。但由于每个分裂的大陆板块大小不等,所在纬度不同,因而受下部岩浆流体作用漂移的速度和方向也存在着差别。这些大陆板块在不同的纬度有不同的转动惯量。在无地壳时,系统满足液核和固核的角动量守恒,一旦有了漂移的地壳后,就构成了较为复杂的分裂地壳板块、岩浆圈层和固核角动量守恒系统。大陆板块漂移后改变了岩浆圈层的角动量分布,使流体的旋转极偏离地转极,流体的旋转赤道也偏离地转赤道,甚至形成局部的环流。这正象地球大气那样,由于下垫面的海陆和山脉地形的存在,使大气运动的极涡偏离地球旋转极,大气中的辐合带也不在赤道上,分裂的地壳漂移进一步会通过液核影响固核的角动量变化。这里,我们只是通过两体问题作简化研究,三体问题的相互作用就更复杂。

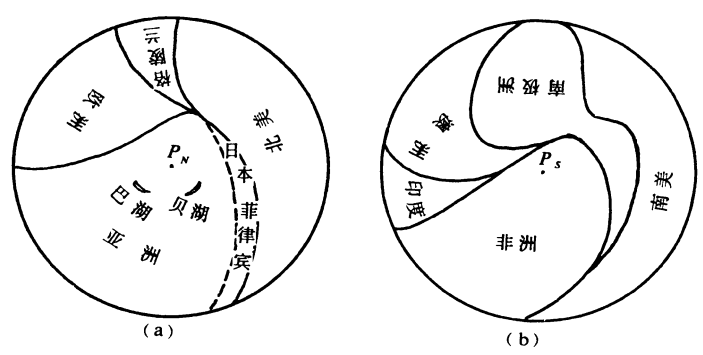


图 1 古极地大陆的分裂

Fig. 1 Rifts of polar palaeocontinents

这些分裂的大陆陆块随岩浆流体漂移到当时岩浆流体表层辐合带的位置,这个位置在地中海、青藏高原的南边缘、斐济、加勒比海、地中海一线近似的大圆上。理论上,冈瓦纳古陆的分裂陆块主体不可能漂移过这个流体辐合带到另一半球去;同样,劳亚古陆的分裂板块主体也不能过这一辐合带。因此,所有大陆板块在漂移过程中如果没有受到其它板块的阻挡,而且同

一个板块各处的漂移力相同,那末这个辐合带两侧大陆陆块面积应该相等。但事实上,由于南北半球大陆陆块在赤道辐合带上相遇时形成的造山运动和陆块不同部分的相对运动,原始的地壳面积大大缩小了,辐合带两侧的大陆面积就不可能完全相等。由于大陆漂移和造山运动,大陆表面留下的遗迹初看是杂乱无章的,但只要认识了引起大陆漂移的本质后,再来看地貌特征就不同了,这其中也包含了很多的规律和结构。

根据多数人的观点,地球磁场是地球内部岩浆流体相对运动的发电机效应,地球物理资料提供了古地磁场的方向发生过多次变化的证据,说明液核流体相对地壳和固核发生过多次总体流向的变化。也就是说,除了上述的液核流体得到角动量,固核失去角动量的过程外,两者之间还经历过多次角动量交换,即液核失去角动量时固核得到角动量的过程。正象大气流体一

样,流体是角动量交换的主要发起者。实际上,赤道流体的辐合下沉就孕育了相反的角动量交换,可描述为:赤道表层流体的辐合下层,流体到达底层时向中纬运动,受旋转偏向力作用,流体有向东运动的速度,对固核的摩擦作用使流体失去角动量,固核得到角动量。在中纬度上升的流体已失去了一些角动量,到达表层时表现为向西的运动,于是在旋转偏向力作用下赤道表层流体是辐散的。赤道上表层流体的辐合与辐散的交替出现,液核流体相对固核方向的交替出现,地磁场方向的交替出现和大陆漂移方向的往复变化,都是岩浆流体中上述两种回路的交替出现。大气中的这种回路称为 Hadley 环流,交替出现的时间大约为 4 年,同时也伴随着大气环流和海温异常现象的出现^[6]。岩浆流体中的行星尺度回路循环的时间间隔应该是与地磁场的方向变化一致的

地球从形成到今天已经历了 40 多亿年,也就是说地球经历了 40 多亿年的冷却和能量耗散。这期间,地壳已大大增厚,各板块(大陆板块和海洋板块)已紧密相邻。最初,大陆板块在流体上漂移,根据流体平衡要求,大陆边缘造山的结果形成山根和陆根,不均匀地壳对岩浆表层流体的作用会使流体出现绕流并形成涡旋流场。因地球是一个耗散系统,后来液核和固核的上述耦合,角动量交换导致的固核变速的振幅是不断减小的,于是,液核流体的辐合带(固核旋转减慢时)或辐散带(固核旋转加快时)的位置只能在上述大圆和地球旋转赤道面之间变化。现今液核流体辐合(辐散)带的位置在哪里呢? V oorhies 和 Nishihama (1994)^[8]根据全球深部电磁观测与电导率随深度变化的实测资料解析出了液核表面稳态流。我们可以在他们给出的图中沿低纬的矢量画一条流线,见图 2 所示,这条流线与所说的大圆比较一致。但是,正象前面已指出的,核幔边界上的局部不均匀可造成液核表层流体发生局部弯曲和局部环流,如图 2 中南亚与青藏高原附近的流线弯曲。这一流线的方向表明,液核表层流体在低纬是辐散的,南北半球上的辐合中心各在高纬印度洋和高纬大西洋。根据液核的这一相对流线分布可以推测,液核是失去角动量的,固核是得到角动量的,即固核旋转是加快的。吴珍汉(1995)^[9]总结了几位作者

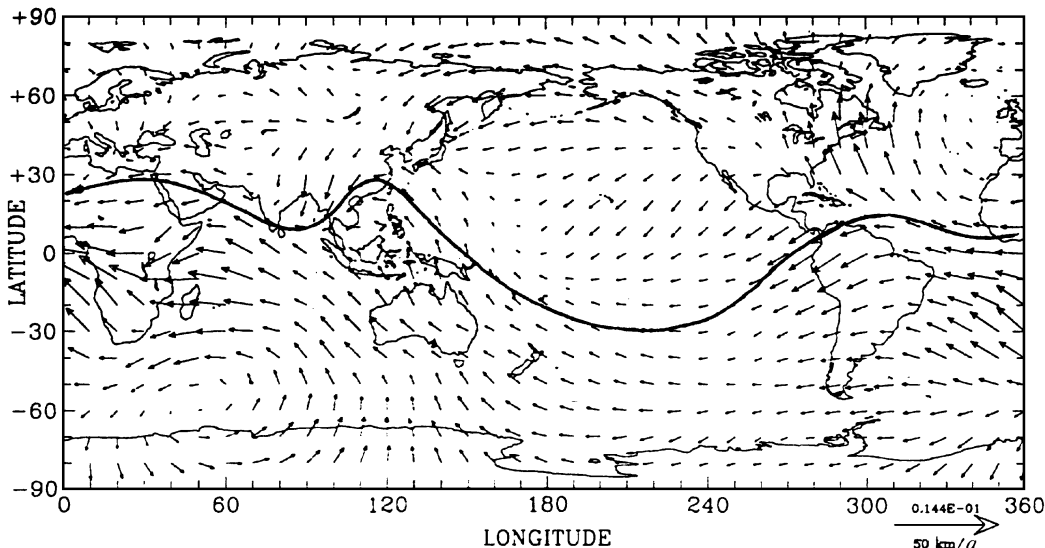


图 2 液核表面稳态流 (V oorhies and Nishihama, 1994)与沿大圆作的流线

Fig. 2 The steady surficial core flow (V oorhies Nishihama, 1994) and streamline along the large circle (maximum speed is 21 km /a)

给出的不同圈层的水平运动结果,发现核幔边界层的水平运动速率量级最大,为 10^{-2} cm/s,而软流圈和岩石圈的水平运动速率量级相似,仅为 10^{-10} cm/s。核幔边界层以上各层的运动方向是一致的,这也说明引起这种水平运动的动力来自液核与固核的耦合。

我们以冈瓦纳古陆分裂和向岩浆流体辐合带的运动来说明他们的运动路线及产生的结果。印度板块分裂时纬度较低,在岩浆流体上向东北漂移最先到达辐合带上,并与从北边过来的亚洲陆块相撞形成了最初的青藏高原。这两个相撞的大陆块相当于在流体“输送带”上的一种运动,造山运动的能量持续不断来自辐合的流体,所以这种碰撞能够影响到亚洲大陆的纵深位置。非洲陆块与北半球的大陆块在辐合带上相撞形成了伊朗高原。当非洲陆块和印度陆块与亚洲陆块相撞停滞不前时,南美陆块漂移的前部为较薄的海洋地壳,最后南美陆块从后部赶上了非洲陆块并相挤在一起,此时,北美大陆也从后部赶上了欧亚大陆。于是,北美、南美、欧亚、非洲和印度陆块紧紧相邻在一起,这就是所谓的联合大陆时期。这一时期中澳大利亚陆块向东北漂移的前方是海洋地壳,受海洋地壳的阻挡作用,其东边界曾漂移到萨摩亚群岛至新西兰的南岛和北岛海岭一线。由于液核流体辐合带随大陆漂移而发生的变化以及南北两极附近辐散中心位置的变化,南极辐散中心位于南极陆块的附近,使南极陆块只是在原地发生了旋转,而没有向低纬漂移。

比较图 1 中当时冈瓦纳古陆分裂、漂移前的几块与现代各个对应陆块的形状看,除南极板块位于极地未作远距离漂移和没有发生明显的变形外,其它几个陆块漂移的距离远,在不同的纬度带上有不同的漂移力,所以发生了很大的变形。

从图 1 中还能看出,冈瓦纳古陆漂移前,南极陆块上的东南部分,相当于中山站到罗斯海以北的地区,当时纬度比较低,这一带可能没有冰雪覆盖。冈瓦纳古陆时期,南极大陆的位置在非洲大陆的南部。

5 冈瓦纳各陆块的回漂与造山运动

冈瓦纳古陆分裂向东北漂移时,每块大陆漂移都会遇到它前部的海洋薄层地壳的阻挡,因而在大陆漂移的前部形成一些隆起。如澳大利亚大陆东北部的大分水岭、南美和非洲东部的高原。当固核由旋转减慢变为加快,此时,冈瓦纳古陆分裂后的非洲、南美、澳大利亚和印度陆块已漂移到岩浆流体辐合带附近,它们相对固核主要受向西的漂移力作用,不可能再返回到极地去。南美陆块主体位于流体辐合带以南,整体有向西南运动的趋势,固核旋转加快时,南美陆块向西偏南漂移到东太平洋隆起一线。漂移过程中陆块在不同纬度带,受岩浆流体作用的漂移力的大小和方向是变化的。北美陆块向西漂移到夏威夷群岛的“L”形海山(海岭)一线;南北美大陆向西漂移时遭遇海洋地壳的阻挡,陆块西侧形成了科迪勒拉山系,同时在海洋地壳上形成堆积。当固核再次减慢旋转时,这些陆块向东漂移,在西侧海洋上留下了太平洋上的隆起和大西洋海岭。从这个意义说,大陆块的水平运动导致了海岭的形成。海岭相当于海洋中的山脉,当时海岭下部也有山根陷入岩浆流体中,于是海岭上有火山活动,一条海岭相当于一条热流带或下部岩浆流体圈层的窗口。所以,不同的海岭岩石的年龄不同,即便在同一条海岭上岩石的年龄也不一定相同。由于海岭就是地球内部热量和物质的外逸带,意味着海岭下部存在上升的对流,但对流说需要回答海岭是如何形成的,是先有海岭,还是先有对流?

大陆块伴随着岩浆流体回路的循环或相对于固核的再次旋转加快和减慢,又会发生多次往复漂移。由于地球不断冷却,地壳不断增厚,尤其在中纬度地壳增厚更快,纬向漂移力又小,

陆块的相对漂移逐渐减缓下来。在当时流体辐合带附近的低纬度,象澳大利亚陆块、南美亚马孙河以北的部分都曾来回在东西方向上漂移过多次。澳大利亚陆块第二次向东漂移,约克角曾到达所罗门群岛的东南部,一些岛屿就是当时陆块漂移留在海洋地壳上的残块,这些岛屿往往集中在海岭上。随着冈瓦纳古陆的分裂和向低纬方向的漂移,图 1 中的南极陆块没有能漂移到极地,在岩浆流体的作用下只发生了整体旋转,使东南极陆块位于南极上,极地附近所受漂移力作用小,所以冈瓦纳解体后把南极陆块留在南极了。岩浆流体对南极陆块的纬向作用发生的整体旋转,使陆块边缘与海洋地壳产生相对运动,形成了一些平行于陆块边缘的山脉。

大陆块能够相对海洋板块有运动是因为陆块山根(比海洋更多地陷入岩浆流体中)受岩浆流体的作用(山根力矩)大,时至现在,我们能够对地球表面上每个陆块的相对关系,每一条海岭和每一个海盆的形成过程及其它它们之间的关系,给出明确的动力学的和形态学的解释^[3]。

6 结束语

地球形成后已经历了 46 亿年的历史,人们深感对地球古大陆的认识不足,不知道大陆是怎样生成的^[10],似乎对流说可以解释海洋地壳的形成,其实不然。要么对海洋地壳和大陆地壳都有一个圆满的解释,要么对任一个都没有得到认识,它们之间不可能割裂。我们的研究认为,地球最初的两极古大陆的形成是地球天文演化的结果,地球的形成靠的是外界向地球提供的物质流和能量流。从物质的归并来说,可以把地球的形成看作在有势力(引力场)作用下物质的收缩过程,旋转是加快的。于是,天文演化时表层流体向极地辐合,天文演化结束时,地球冷却形成了地壳,冈瓦纳古陆和劳亚古陆就是天文演化结束时显露在两极附近的地壳部分。当时尚未发生陆块间、陆块与海洋地壳之间的挤压和变形,全球陆地面积最大,陆地内部结构也与现在不同。

冈瓦纳古陆和劳亚古陆的裂解靠的是表层岩浆流体的运动,岩浆流体中存在着行星尺度的回路,岩浆流体中的这一回路又改变了固核的角动量和液核的角动量。岩浆流体中还应存在局部对流或相对回路较小的次级环流,这种次级环流也可对局部地壳产生影响。大陆裂解和漂移的力是岩浆流体相对当时地壳运动的应力(摩擦力矩和山脉力矩)。岩浆流体的流变性决定了它不但速度发生变化,在不同纬带上质量也会重新分布,即它的角动量变化构成了质量分布角动量(Ω 角动量)和纬向速度变化角动量两个部分。

岩浆流体的回路运动不但关系到很多地质和地球物理现象的解释,而且,回路本身的动力学研究也是一个复杂的课题。

参 考 文 献

- 1 刘小汉、郑祥身等,南极洲大陆构造区划和冈瓦纳运动。南极研究(中文版),1991,3(2): 1-9
- 2 钱维宏,南半球大陆与岛屿的分布与地球自转长期减慢。地质科学,1992,3: 305-308
- 3 钱维宏,行星地球动力学引论。北京:气象出版社,1994
- 4 Rosen D R, The axial momentum balance of the earth and its fluid envelope. Surveys in Geophysics, 1993, 14: 1-29.
- 5 Qian Weihong, You Xingtian and Chou Jifan, An atmospheric motion equation built on the conservative relationship of the angular momentum exchange between the solid earth and the atmosphere on seasonal-annual timescale. Acta Meteorologica Sinica, 1995, 9(2): 249-256.
- 6 钱维宏、丑纪范,地气角动量交换与 ENSO 循环。中国科学(D), 1996, 26(1): 80-86

- 7 National Global Change Secretariat, The earth as a global system. Global Change, 1991: 9- 24.
- 8 Voohties V C and Nishihama M, Simultaneous solution for core magnetic field and fluid flow beneath an electrically conducting mantle, J Geophys. Res., 1994, 99(B4): 6685- 6693.
- 9 吴珍汉,全球构造运动与地球自转相关性的新证据. 地质力学学报, 1995, 1(3): 46- 54
- 10 Rudnick R L Making continental crust. Nature, 378(7): 571- 577.

ON THE FORMATION AND SPLITTING OF GONDWANALAND

Qian Weihong

(Department of Geophysics, Peking University)

Abstract The formation and splitting of Gondwana land is still open to discussion. First, in this paper the Earth is considered to have involved the astronomical evolution and geological evolution. During the period of the astronomical evolution the Gondwana land formed at the south pole and high latitude areas. At the early stage of geological evolution the horizontal motion of magma might have driven the original crust to split and its northern edge might have drifted to where the outer-core liquid converged i. e. along the small circle from the Mediterranean Sea, southern edge of Qinghai-Tibet Plateau, Fiji, to the Caribbean Sea. On reaching low Latitudes, the splitted continents began to drift in the east-west direction and thus formed the mid-ocean ridges.

Key words Gondwana land, the earth evolution, convergence zone

作者简介

钱维宏,男,1957年生。1982年毕业于南京气象学院,曾在基层气象台站工作9年。1991年考取丑纪范院士的博士生,1994年进北京大学地球物理系博士后流动站。通讯地址:北京大学地球物理系。邮政编码:100871