

文章编号: 1009-3850(2007)04-0069-05

试论地球莫霍球面体形状的变化

杨宗让^{1,2}, 邓金利²

(1. 长安大学, 陕西 西安 100054; 2. 陕西省地质调查院, 陕西 西安 710054)

摘要: 作者认为地球莫霍球面体形状经历了一个从6.5亿年的“倒梨形体”到2.5亿年的“哑铃形体”再到现在的“正梨形体”的演变; 提出了地旋幔流——大陆被动漂移的观点, 认为自6.5亿年以来, 由于地球旋转方向变化和地球自转速率减慢等因素的影响, 地幔发生了大规模由北向南、自西向东的幔流运动, 从而使地球莫霍球面体发生由“倒梨形体”向“正梨形体”的变化。

关键词: 莫霍球面体; 地球旋转; 幔流
中图分类号: P541 文献标识码: A

长期以来, 人们往往从地球表面洋、陆的自身运动及分布规律来探讨大陆及大洋板块运动的动力学问题, 而对占地球体积83%、质量68.1%的地幔运动, 特别是由地幔运动而引起的地球莫霍球面体形状变化的认识与研究不够。笔者通过对现在地球莫霍球面体形状变化规律, 以及与洋、陆分布关系的初步研究, 认识到地球莫霍球面体形状的变化才是决定地球表层洋、陆(占地球体积1%、质量仅0.4%)分布及运动的主要动因, 而地球莫霍球面体形状的变化则是与地球旋转、日地引力作用方向变化而引发大规模的幔流运动^[1,2]的结果, 大陆往往是被这种幔流运动追赶着在地球表面作被动的旋漂^[3]运动。

1 现代地球体及其莫霍面体形状

据测定, 现代地球体的形状是一个北极区略为伸长(比理论长10m), 南极区略为收进(比理论短30m), 且北半球中纬区收进(7.5m), 南半球中纬区突出的正梨形体(图1); 北半球中纬区以陆地为主, 南半球中纬区大部分被大洋覆盖。然而, 这个地球体总的面貌并不是由地表洋、陆的分布来决定的, 而是由莫霍球面体的形状来决定的。

地球莫霍球面体即是地幔表层的面状体。对地

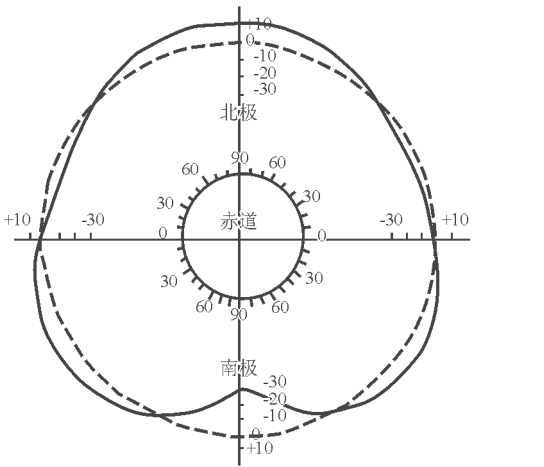


图1 卫星资料作出的地球形状断面(据 King-Hele, 1968)
Fig. 1 Cross-section of the Earth based on the satellite data (after King-Hele, 1968)

球莫霍球面体的测量从理论上来说是完全可行的, 但到目前为止仍没有一个实测结果。我们不妨以地球表面洋、陆的分布来大致确定地球莫霍球面体的形状。因为莫霍面的“隆、拗”, 决定着地球表面的形状(Wilie, 1978)和洋、陆的分布, 大陆往往是处于“慢拗”区内的, 而大洋则处于“慢隆”区, 且莫霍面的深度与地壳厚度之间往往呈明显的镜像关系^[4]。据此

可以在现代地球上分别以大洋壳区向下11km, 大陆区向下35km下推, 即可得到现代地球莫霍球面体的大致形状(图2A)。不难看出, 现代莫霍球面体的形状大致是一个与现代地球体形状相似, 但凹凸更加明显的“正梨形体”。南极更加拗陷却对着南极大陆, 南半球中纬区则明显突出对应着印度洋和太平洋, 并且南纬55°突隆区恰好与印度洋-太平洋洋中脊链所在的位置对应。

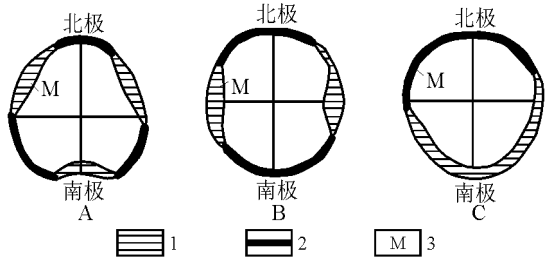


图2 6.5亿年以来地球莫霍球面体形状变化示意图
1. 陆壳; 2. 洋壳; 3. 莫霍面。A. 现代; B. 2.5亿年; C. 6.5亿年
Fig.2 Sketches to show the evolution of the shapes of the Moho spheroids since 650 Ma
1= continental crust; 2= oceanic crust; 3= Moho discontinuity. A. Recent; B. 250 Ma; C. 650 Ma

2 莫霍球面体形状的变化及规律

2.1 2.5亿年前后与赤道泛大陆对应的莫霍球面体形状

关于中二叠世泛大陆的存在问题 (Wegener, 1912) 已得到了古地磁资料的证实和再造^[8] (图3)。这个时期的泛大陆是一个由北半球(0~60°N) 劳亚和南半球(0~60°S) 冈瓦纳两个超级大陆在赤道附近集合而构成的联合大陆。它的东侧陆缘赤道附近有一个向东呈喇叭状张开的特提斯洋, 其周围南、北极区(60°~90°) 均为洋区。

根据这个泛大陆及周围大洋区的分布特点, 按照上述莫霍球面体的恢复方法, 大致可得到对应2.5亿年前后地球莫霍球面体的基本形状(图2B)。可以看出, 这个时期的莫霍球面体是一个南、北半球及极区扩张, 赤道微收缩(4~5km) 的“哑铃形体”。大陆集中在赤道附近的莫霍拗陷区内, 而大洋则集中在南、北半球及极区。

2.2 6.5亿年前后与南半球泛大陆对应的莫霍球面体形状

关于6.5亿年前后新元古代泛大陆的存在问题已得到了普通认同^[6, 9, 10]。根据大部分学者 (Piper, 2000; Mrbosh, 2003) 对这个泛大陆的再造结果, 这个

时期全球大陆集合于南半球极区, 并形成了一个以罗迪尼亚超大陆为主的泛大陆格局(图4)。恢复其对应的莫霍球面体形状为一个恰与现在颠倒的“倒梨形体”(图2C), 北半球明显凸出, 南半球却明显凹陷; 对应地表前者大部分为洋区, 后者大部分为陆地覆盖。

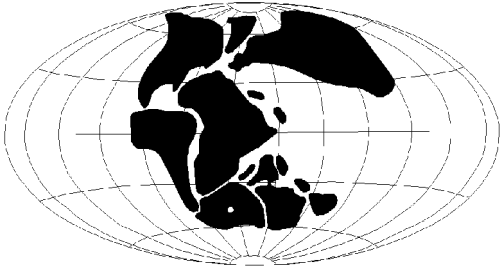


图3 2.5亿年前后全球洋陆分布略图(据 Matter, 1983, 简化)
Fig.3 Distribution of the global continents and oceans at ca. 250 Ma (modified from Matter, 1983)

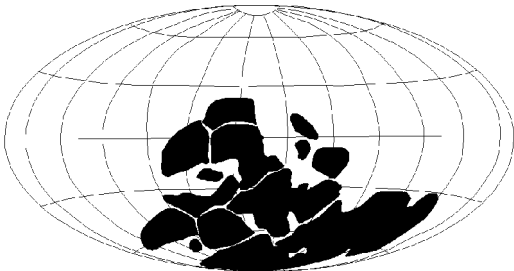


图4 6.5亿年前后全球洋陆分布略图(据 Pisarevsky, 2003; Mrbosh, 2003, 简化)
Fig.4 Distribution of the global continents and oceans at ca. 650 Ma (modified from Pisarevsky, 2003; Mrbosh, 2003)

2.3 6.5亿年以来莫霍球面体形状的变化规律

综上所述, 在地球历史上, 莫霍球面体在不同时期有不同的形状, 并总体显示出一种从6.5亿年的“倒梨形体”过渡到2.5亿年的“哑铃形体”再到现在的“正梨形体”演化过程(图2)。在这个演化过程中, 地幔物质总体显示有一种自北向南的缓慢($<0.31\text{ cm/a}$) 运动趋势。而大陆则总体经历了一个从南半球经赤道向北半球旋漂的过程, 且在这个过程中大陆总是被动地被追赶向“慢拗”区运动, 而“慢隆”区则往往是洋壳增生的地方。也正是由于6.5亿年以来地幔由北向南的运动, 使南半球发生了大规模的新生洋壳的增生, 从而造成罗迪尼亚超大陆的裂解^[2]。其原因是, 自6.5亿年以来, 地轴倾角曾发生过由小变大, 引起了作用在地球体上的日、月引力(包括银核) 方向发生由北向南的变化, 造成占地球

质量68.1%的地幔发生了缓慢的由北向南的大规模幔流运动,从而使莫霍球面体发生了由“倒梨形体”向“正梨形体”的变化。在这个过程中,大陆总是被幔流被动地趋赶。

3 莫霍球面体形状变化的动力学分析

3.1 6.5亿年以来两个重要的基本事实

莫霍球面体形状变化的动因实质上是一个复杂的地球动力学问题,有内因和外因两个方面的因素。内因方面主要有地球自转速率变化、地球圈层差速运动、地轴倾角变化、幔流运动等;外因主要有日、月及银核引力大小及方向的变化等。

1. 地球自转速率由快变慢

有关6.5亿年以来地球自转速率由快向慢变化^[1,2,12,18]这一事实,已得到了天文学家(Munk, 1960)和古生物学家(Schutlon, 1965)的证实。特别是古生物学家通过观察珊瑚(Schutlon, 1965)、双壳类(Pannella, 1971)、腹足类、头足类、叠层石等节律,发现自6.5亿年以来一年的天数在逐渐减少,即晚震旦世474d/a,寒武纪424d/a,奥陶纪412d/a,志留纪402d/a,泥盆纪396d/a,石炭纪393d/a,二叠纪385d/a,侏罗纪377d/a,现代365d/a。而一天的时间也从晚震旦世的18.5h/a增加到现在的24h/a。这均反映了地球自转速率有逐渐减慢的现象^[11]。

2. 地轴倾角发生顺时针由小变大

有关地轴倾角的变化,米兰克维奇(1920)已从天文学角度得到了证实;并将其与第四纪冰期联系起来,成功的解说了第四纪冰期的成因问题^[13]。但米氏在未考地球自转速率和日地引力变化这两个重要因素的前提下,认为第四纪冰期地轴倾角的变化范围与现在相比仅 $2^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。但实际上,地轴倾角在地史上的变化可能是很大的^[13,15],且地轴倾角曾发生过顺时针由小变大。

6.5亿年以来,地球上曾出现了两次大的冰期,一次为6.5亿年前后的晚震旦世,其从开始到结束持续时间为8.75~6.10亿年,当时南半球和赤道附近(澳洲大陆)都被冰雪覆盖,成为一个雪球世界。另一次就是第四纪大冰期,持续时间是1.8~0.01Ma,这时南北两极和北半球 30° 以上区域均被冰雪覆盖。另外,在这两个大冰期之间的石炭一二叠纪,全球却出现了南冷北热的古气候分带^[13,18],南半球 45° 以上高纬区冰川发育,赤道及北半球 30° 以内区域则多为热带型煤层、红层和蒸发盐沉积^[18]。

对于这种古气候变化,有多种成因解释,但地轴

倾角变化可能是最好的解释(Milankovitch, 1920; Williams, 1975; 将匡仁, 1976; 徐钦琦, 1979)。地轴的倾角决定着地球不同纬度上的日辐射量。这两次大冰期,晚震旦世大冰期似乎是北半球对着太阳,南半球(大陆集中)背对着太阳,很少有日辐射,南半球和赤道附近都被冰雪覆盖,反映当时的地轴倾角可能是很小(10° 左右)的,地球近乎于平躺着且轴及北极对着太阳旋转。石炭一二叠纪,地轴倾角增大(到 35° 左右),其赤道和北半球 30° 以内区域受日辐射量最大,出现了热带型煤层、红层和蒸发盐沉积^[17,18],而南半球高纬区则背对着太阳,日辐射较少,有冰川发育;而西伯利亚和中国的东北地区当时的在古北纬 $35^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 上,加上受北极洋流的影响,是处于温带气候,发育安加拉植物群。到第四纪大冰期,其地轴倾角增大到了 $90^{\circ} \sim 110^{\circ}$,地轴偏东近乎垂直于黄道面,南北两极和北半球 30° 以上区域日辐射量少。到现在,地轴倾角已增大到了 117.5° 左右。

地轴倾角的这种变化还能解释6.5亿年以来莫霍球面体形状的变化,因为地轴倾角的变化引起的另一个可能的变化就是使日、月及银心引力方向发生改变,这将改变整个地球的应力场,引起幔流运动方向改变,从而引起地球莫霍球面体形状的变化和全球板块构造动力系统的改变。

3.2 动力来源及力学分析

首先分析地球自转速率变慢而引起地幔及地壳上惯性离心力的变化情况。地球的自转必然在地球的外圈层(包括壳层和幔圈)产生一种惯性离心力。根据李四光的地质力学理论^[10],当自转速率变化时,惯性离心力在径向上产生径向惯性力增量,在纬向上则由切线加速度产生纬向惯性力增量,而且它们都与块体的质量成正比。地球外圈层中地幔的质量是地球质量的68.1%,而地壳仅为0.4%。显然,作用在地幔上的惯性离心力增量远远大于(170倍)作用在地壳上的力,反映出地球自转速率的变化对地幔运动所起的作用可能较地壳大得多。另一方面,当地球自转速率变慢时,作用在径向上、纬向上的惯性力增量均为负值,反映了径向惯性离心力有把地幔物质推向两极、纬向惯性离心力把地幔物质产生由西向东的趋势,而二者的合力则在北半球有使幔流发生逆时针从西向东的旋转运动趋势,在南半球则有顺时针从西向东的旋转运动的特点(李四光, 1942)。这一点与利用卫星观测的由重力位球谐函数确定的现在太平洋西岸东亚陆缘区幔流运动的趋势特点(图5)基本一致。但是,由地球自转速率

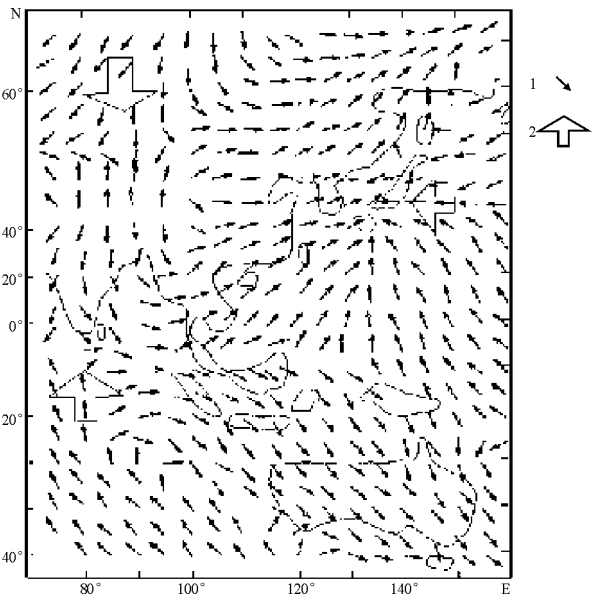


图5 中国及邻区岩石圈底层应力分布模式
1. 应力方向及相对大小; 2. 地壳推挤方向

Fig. 5 Distribution of the stress in the lowermost part of the lithosphere in China and its adjacent areas
1. direction and intensity of the stress; 2. direction of crustal progradation

变化而引起的径、纬向惯性离心力增量是不可能引起大规模的跨越赤道的南北向运动的(李四光, 1942)。而6.5亿年以来地球莫霍球面体发生由“倒梨形体”向“正梨形体”变化这一事实却反映了幔流曾发生过缓慢的(小于0.31cm/a)由北向南跨越赤道的长距离运动, 这说明仅由地球自转速率变化是不能够完全解释这种大规模的跨越赤道的幔流运动的。那么, 另一个重要因素就是地轴倾角的变化。地球不仅有复杂的自转动力系统(包括月地引力系统), 而且有复杂的公转动力系统。前者决定了地球的圈层性和扁椭球体的外形特点; 后者则掌握着地球的平衡问题。在公转动力系统中主要的力就是万有引力和公转产生的强中纬力(刘全稳, 2001), 前者主要包括日地引力以及银核对地球的引力。这些力均具有明确的方向性, 一旦地轴倾角变化, 作用在地球不同纬度带上的引力方向也必然发生改变, 从而改变地球的应力场。

因此, 笔者认为正是由于6.5亿年以来可能由于太阳质量的不断损失, 日地引力减小, 引起日地距离增大, 地轴倾角发生由小变大, 地球自转速率减

慢, 使日地及银心引力方向发生变化, 造成了地幔内发生大规模的由北向南、自西向东(由地球自转速率减慢产生惯性力增量引起的)的幔流运动, 从而使地球莫霍球面体发生了由“倒梨形体”向“正梨形体”的变化。显然, 幔流的运动实际上是受日地(包括银核)引力和地球自转离心力双重控制的。

4 地旋幔流-大陆被动漂移假说

在以上认识的基础上, 笔者提出了地旋幔流-大陆被动漂移的观点: 自6.5亿年以来, 由于地球旋转、倾角发生由小变大和地球自转速率减慢等因素的影响, 使作用在地幔中的日地引力及银心引力方向发生变化, 引发了大规模由北向南、自西向东的幔流运动, 从而使莫霍球面体发生由“倒梨形体”向“正梨形体”的变化。在这个过程中, 在幔流运动的前峰往往形成幔隆区, 这里是洋中脊扩张区和地幔柱发育区; 而大陆则往往是被动的被这种幔流运动赶着向幔坳区运动。

显然, 地轴旋转和地球自转速率减慢是因, 引发大规模的幔流运动是果; 而后者则是地壳(包括洋壳和陆壳)运动和板块构造的动力来源。6.5亿年以来, 由于大规模的由北向南、自西向东的幔流运动, 地壳板块总体表现出向西运动的趋势, 这正与Doglioni(1990)的结论(图6)是一致的, 也与根据卫星测距得到的现代全球主要板块的运动是一致的。

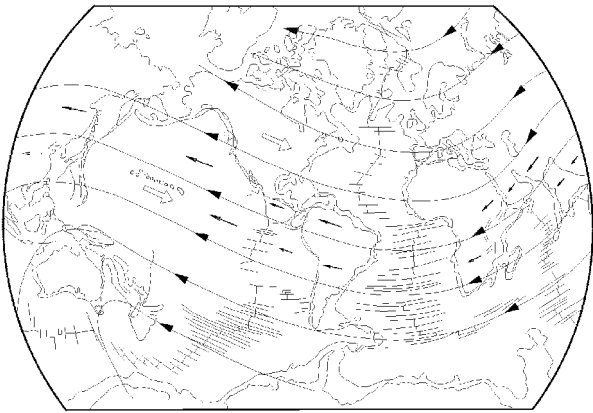


图6 推断的板块运动流程图, 白箭头为地幔流; 黑箭头为板块运动(据 Doglioni, 1990)

Fig. 6 Flow plot showing the inferred plate movement. The open arrows indicate the direction of the mantle currents, and the solid arrows indicate the direction of the plate movement (after Doglioni, 1990)

参考文献:

- [1] 肖庆辉. 大陆动力学研究中值得注意的几个重大科学前沿[J] . 陕西地矿信息, 1997, 22(2): 1—2.
- [2] 马宗晋, 杜品仁, 潘汉净. 地球构造与动力学[M] . 广州: 广东科技出版社, 2003. 40—58, 475—556.
- [3] 司月伟. 地扩旋漂说简介[J] . 陕西地质科技情报, 1995, 20(1): 6—12.
- [4] P. J. 威利. 动力地球学[M] . 北京: 地质出版社, 1978 35—168.
- [5] 刘全稳, 赵金洲, 陈景山. 地球原动力[M] . 北京: 地质出版社, 2001. 13—23.
- [6] 王鸿祯, 张世红. 全球前寒武纪基底构造格局与古大陆再造问题[J] . 地球科学, 2002, 27(5): 467—481.
- [7] 都城秋穗, 安芸敬一, A. M. C. 森格. 造山运动[M] . 北京: 科学出版社, 1986. 57—234.
- [8] ZIEGLER A M, SCOTES C R, MDKERROW M S, et al. Paleozoic paleogeography [J] . Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 1979, (7): 473—502.
- [9] MCEIHINNY M W, MCFADDEN P L, Paleomagnetism, Continents and Oceans [M] . San Diego: Academic Press. 2000. 1—386.
- [10] PIPER J D A. The Neoproterozoic Supercontinent: Rodinia or Paleopangea ? [J] . Earth Planet. Sci. Lett., 2000, (176): 137—146.
- [11] 李四光. 地质力学概论[M] . 北京: 科学出版社, 1973.
- [12] 尹赞勋, 骆金铨. 从天文观测和生物节律论证生物钟的可靠性[J] . 地质科学, 1976, (1): 1—20.
- [13] 将筐仁. 地球运动周期性之初探[J] . 地质科学, 1976, (1): 23—40.
- [14] 刘雪松. 西太平洋边缘海盆的主要特征及成因探讨[J] . 世界地质, 2002, 21(3): 235—240.
- [15] 徐钦琦. 关于冰期成因的探讨[J] . 地质科学, 1979, (3): 252—260.
- [16] 张抗. 亚洲东部新生代的扩张及其大地构造意义[J] . 海洋地质与第四纪地质, 1988, (3): 25—33.
- [17] 杨宗让. 中国各大陆块在寒武纪全球构造中的位置及意义[J] . 沉积与特提新地质, 2000, 20(1): 90—97.
- [18] 白顺良, 翦万筹. 地质历时与板块构造[M] . 北京: 地质出版社, 1984. 128—185.

Discusses on the evolution of the Moho spheroids

YANG Zong-rang^{1, 2}, DENG Jin-li²

(1. Chang'an University, Xi'an 710000, Shaanxi, China; 2. Shaanxi Institute of Geological Survey, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: The Moho spheroids have recorded the evolution of the shapes from the “inverted pear” during 650 Ma to the “dumbbell” during 250 Ma and finally to the present-day “normal pear”. A new explanation about the mantle currents-passive continental drift presented by the authors in this study suggests that from the 650 Ma onwards, the large-scale N-S and W-E-trending movement of the mantle currents took place in the mantle due to the variations in the Earth's rotation orientation and the slowing of the Earth's rotation velocity, and resulted in the variations in the shapes of the Moho spheroids from the “inverted pear” to the “normal pear”.

Key words: Moho spheroid; rotation of the Earth's axis; mantle current movement; passive continental drift