

文章编号: 1006-6616 (1999) 02-0029-38

地球圈层耦合扭转机制及其成因

张永鸿

华东石油地质局, 江苏 扬州 225002

摘要: 全球扭转构造体系不仅是球面现象, 而且波及整个地球。本文着重指出地球圈层耦合扭转的机制, 揭示该机制对于板块构造的控制规律。赤道面与银道面的交角达 $62^{\circ}36'$, 当银心从北天球移动到南天球时, 在公转离心力的驱动下, 塑性地球幔将向南半球运移而大陆板块则向北半球漂移, 从而导致南、北半球的非对称性和两半球的相对扭转。地球的大陆漂移的节律与银河系涡旋周期一致, 太阳系内旋转状态相同的行(卫)星与地球同步扭转。

关键词: 涡旋; 海陆对跖律; 共轭剪切大圆; 公转离心力效应; 梨形地球体

分类号: P542.5

文献标识码: A

1 地球扭转的内部机理

已初步研究^[1], 地表所见巨型构造带相互配套, 组合成为统一的全球扭转构造体系。其主要的结构要素有 NW 向螺旋型环球扭转压裂带、NE 向扭转张裂带、经向扭劈裂带的纬向扭割裂带等。但是, 这一切只是地球整体扭转变形的外在表现, 有关地球物理场的分析发现, 核幔、壳各圈层均已耦合相关地纳入到该体系之中。

地球内部圈层物性差异悬殊, 取 PREM (1981) 给出的横波品质因素 (Q_0) 表达为: 海洋为 0; 岩石圈为 600; 软流圈为 80; 过渡层为 143; 下地幔为 312; 外地核为 0; 内地核为 84.6; 故地球可视为固态 ($Q_0 = 600$) 薄壳封闭的“带有液核”^[2]并处于液态均衡状态的球体。其内部由液态 ($Q_0 = 0$)、准液态 ($Q_0 = 82.3 \pm$) 和准固态 ($Q_0 = 227 \pm$) 互层组成。这种状态使得各圈层之间可以相对拆离滑移旋转^[3-4], 且存在着固、液态层之间的相互作用。在统一扭转矩作用下, 将具有相关的应变、流变和流动形式。

1.1 内地核的加速自转和流变

宋晓东等发现^[5], 内地核有一个地震波传播速度比一般值高 0.3% 的“快速轴” (fast axis), 根据该轴在地表位置的变化, 内地核自转速度快于壳幔, 周期为 400 年。加速自转被认为是液核磁流体发电机理论所预见的径向对流引起的差速运动, 在角动量守恒前提下, 沉到内核的物质因半径 r 值变小而有更大的角速度 k 值, 保持 kr^2 积不变。快速轴的形成, 则是

收稿日期: 1998-10-5

作者简介: 张永鸿 (1936-), 男, 研究员, 1958 年毕业于北京地质学院, 长期从事石油地质、构造地质等研究。

液核铁原子沉凝结晶体定向排列的结果

宋晓东所描述的快速轴的方位为阿拉斯加—南桑德韦奇一线或移来前的挪威—克马德克一线,在内核球面上,实为固定于球面的 NW 向螺旋型窄带。这正是塑性扭转变形的标型特征,表明内核已卷入全球扭转构造系。

1.2 外地核涡街的螺旋型回环流动

磁流体发电机理论以外地核的非轴对称流动 (T G Cowling) 和径向对流运动 (E C Bullard) 为必要条件。湍流模式 (H K Moffat) 可满足全部要求,但因纷繁复杂而停留在抽象的数学分析阶段。由于不可压缩磁流体与普通液体之间的流动形式的相似性^[6],可将基本磁场中的非偶极场正、负异常直接看作旋向相反的同电性涡旋的两种磁效应,它们成串地发育在扰动流束两侧边界层左、右互列组成卡门涡街或在多向流束干扰下作涡花分布。根据不同年份的非偶极磁场 Z 分量异常图^[7]具体拟合的结果表明,尽管瞬间变化的未知因素很多,但其基本流形仍可识别 (图 1)。简言之,在整体向东旋转着的液核内,因径向流动分量的迭加而形成 NW 向螺旋型回环的扰动流束 (图中点花纹区),并在静流与扰动流之间的切变地带发育涡旋。显然,这种流形同时存在着球面上的回流。上下层之间的循环流动和沿着涡旋轴升沉的龙卷风式的径向流动,因而能够解释现知的磁场倒转、磁漂移等现象,更能说明液核铁原子沿着切变带优先沉凝,并在螺旋型扰动控制下同向延伸的成因机理,又因“升流自内而外偏西,降流自外而内向东偏转”^[3],使内核有更大的转速。宋晓东等的发现^[5],无疑增加了图 1 的可信度,据此更认识到,液核及其它准液态圈层是地球内部最活跃的因素,其流动本身所具有的回转扭矩,是全球扭转变形的动力学根源之一。

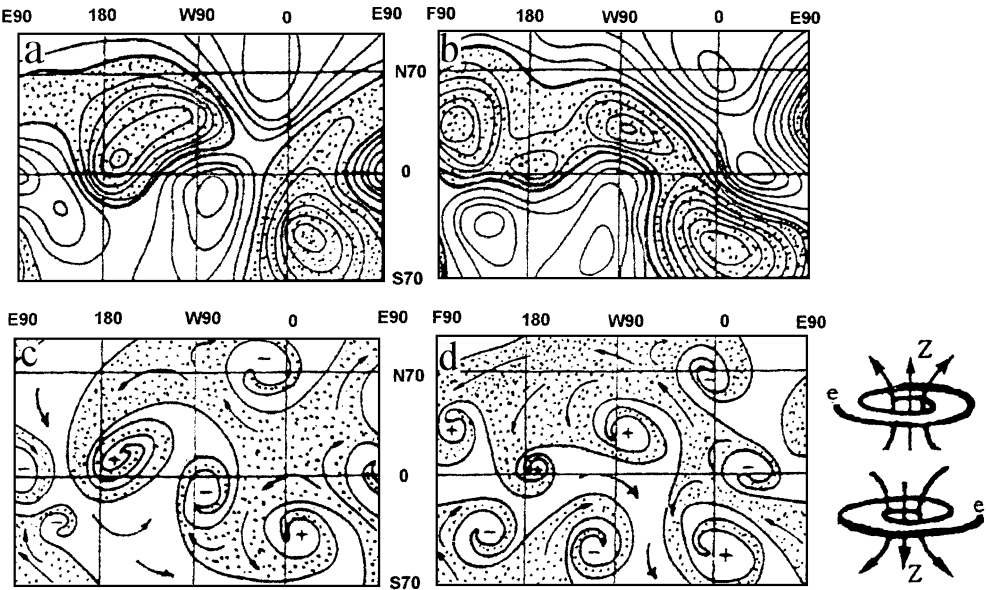


图 1 液核磁流体的流动方式 (a b 摘自文献 [7], 全图据文献 [3] [4] 简化)

Fig. 1 Flow type of magnetic fluid of the liquid core

a b. 根据非偶极子磁场 Z 分量, Z 分量等值线间距 2000nT, 点花纹为正异常区; c. d 拟合的外地核磁流体流动形式, 箭头示流向, 点花纹为扰动流束; a c. 1650 年; b d. 1845 年; 上下图正、负异常中心重合; 电 (e) 磁 (Z) 效应的解释原则见右角

1.3 核幔边界的非对称性胀缩和扭转

PKP波反演的地震层析法成象图^[9]表明核幔边界有±5km的起伏,具有块状分割特征,半球不对称特征和扭转排列特征。太平洋和美洲这对正负异常的长轴为NW向,在此基本走向控制下,其它异常顺向排列而略显全球的螺旋型绞扭构形。表明液核容腔形态具有南胀北缩的半球差异和扭转轮廓外貌。液压控制着核幔边界起伏,而这种起伏反过来又限制着液核的流形。

1.4 塑性地幔的非对称性的扭转流变

全球人造卫星重力异常图(图2)主要反映塑性地幔的质量和(或)密度的异常分布状态,或者说反映塑性地幔的具有一定强度的流变构造特征。

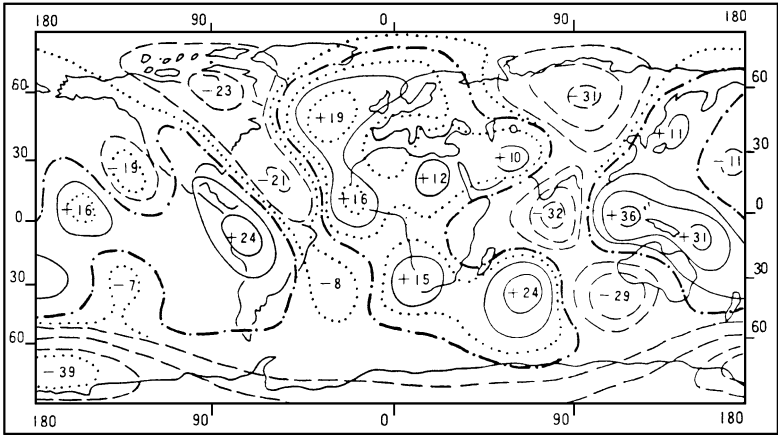


图 2 全球人造卫星重力异常图(据 K Shimazak, 1974 年资料简化)

Fig. 2 Simplified map of global gravity anomaly of artificial

图中等值线差为 10mGal, 局部用点线内插 5mGal 间距线, 点划线、实线和虚线分别代表 0 值、正值和负值

图 2 所展示的形态特征是: (1) 关于自转轴的对称性胀缩——全部正异常分集于太平洋和非洲两大膨胀区, 被两大收缩带等距分隔; (2) 南、北半球非对称胀缩——南极负异常区被赤道及其以南的正异常包围, 而北极圈负异常带将北极低幅正异常区半包围; (3) NW 向螺旋型胀缩带——图中除亚洲东部之外, 所有正、负异常轴均 NW 向或沿 NW 向排列。表明塑性地幔在赤道圈呈哑铃状对称隆胀并南移, 更在南移过程中因科里奥利效应东偏, 导致全球正向(北半球向西、南半球向东)扭转变形。

1.5 全球梨形三轴椭球体的扭转变形

大地均衡水准面的起伏(图 3)可以从重力异常或异常位的开展来合成^[10], 故其轮廓形态与重力异常图(图 2)有相同格局, 在纬圈的变化方面具有通常所说的“梨形体”特征, 但在同时考虑经度方向变化时, 不难看出明显的 EW 向的隆、拗起伏, 以及起伏带的 NW—SE 向偏斜的总趋势。在印度以南(0°E75°)的赤道半径比正常值缩短 120m, 而在 W15°—E165°方向的赤道半径相对加长。全球轮廓实为正向扭转的梨形三轴椭球体。据此认为, 整个地球的形体就是一个扭转变体。

发育为洋底扩张脊。当然, 应将大圆看作是具有一定宽度的应力集中带, 在理论线位与实际构造部位之间允许较大偏离。

大圆①: 东太平洋脊—中印度洋脊。进入北半球后, 其东端接特万特佩克脊—墨西哥湾, 西端偏移 to 亚丁湾—红海—地中海—比斯开湾, 两端按趋势汇合于北大西洋 ($N45^{\circ}$)。

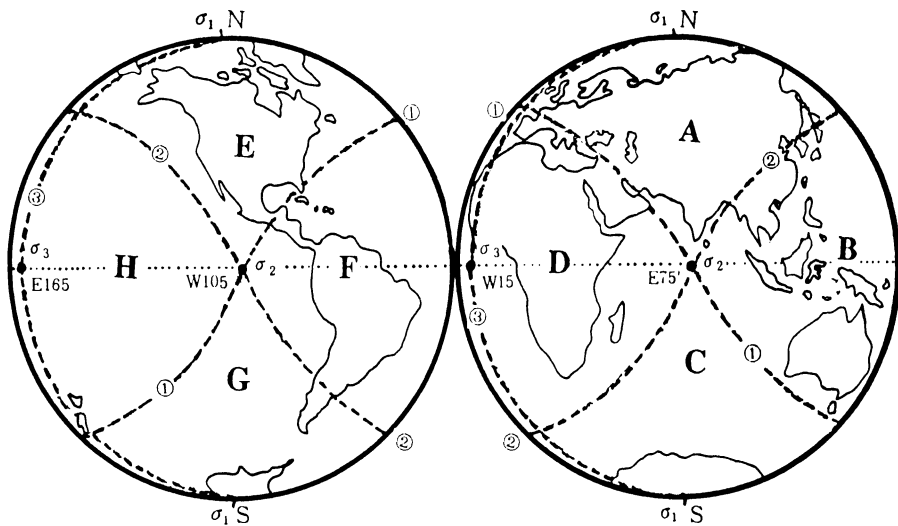


图 4 地球应变椭球体三轴定位及其共轭剪切大圆网络
Fig. 4 Triaxial setting of strain ellipsoid of the Earth and its conjugate shear net of great circle partition

图中①、②、③ 是 3 个剪切大圆迹线, 其所分割的块体与现实板块对应: A. 欧亚板块, B- H. 太平洋板块, 但有澳大利亚板块插入; G- G. 南极板块, D. 非洲板块; E. 北美板块; F. 南美及纳斯卡板块

大圆②: 智利脊、西南印度洋脊。两者按趋势汇合于南大西洋 ($S45^{\circ}$)。在北半球, 该大圆迁就于东太平洋脊进入加利福尼亚湾, 从北美西岸线到亚洲东岸, 表现为大陆半掩埋下出露不全的扩张脊和沟弧盆系统内零星开裂的边缘海扩张脊, 但已扭变错位。

大圆③: 北冰洋—大西洋脊。对跖的半大圆发育南极洲的罗斯湾—威德尔海大地堑, 在西太平洋所见为海山与深海盆镶嵌的海底火山喷发区, 海山沿 NW 向压扭性断裂带雁行排列, 全区在平面上呈菱形铺展, 其中轴在皇帝海山—新西兰一线, 与 $E165^{\circ}$ 经线半大圆重合。

以上 3 个大圆在球面上分割所得之块体与现实板块划分一致。据此认为: 洋中脊的分布和板块的分割以塑性地幔胀缩变形所成的地球三轴应变椭球体的共轭剪切大圆网络为基础。

2.2 梨形地球体控制的半球扩张格局

地球的另一形体分量为梨形体, 北半球纬圈扎缩而其中心北极上隆, 南半球纬圈膨胀而其中心南极下陷。海陆分布受其控制, 表现为球面三角形块体间的 A—G—E—C 的海陆对跖关系 (图 4)。北冰洋因与南极洲对跖而开裂, 北大西洋因与澳大利亚对跖而开裂, 除此之外, 全部扩张脊均沿着南半球剪切半大圆弧发育, 使非、澳、南美和印度、阿拉伯诸陆块呈三角形花瓣状散开, 将南极洲围于花芯部位, 而北陆从北冰洋“花蒂”外展, 将南陆“花瓣”迭覆。全球如绽开的花蕾, 具有半球扩张的动态特征。

这种动态特征表明, 存在着塑性地幔向南运移并注入南半球的扰动过程, 现知板块构造动力学机制, 皆源自该过程所引发的相关的物理效应, 其中包括地球扭转效应

2.3 板块扭转破裂的过程和成因机制

地球体第三个形体分量是在梨形三轴椭球体基础上的螺旋型绞扭 (图 3)。它直接控制板块的扭转破裂。形变的过程可上溯到二叠纪末。

石炭二叠纪时,所有大陆板块都聚合在一个以经线大圆为界的半球之内,组成联合古陆。当时的洋域则占据另一半球,形成 EW 方位的洋陆半球对跖的格局。中生代以来的地球演化过程及其相关原理大体如下:

陆半球 (联合古陆): (1) 由于幔隆纬圈从赤道北侧移到南半球,纬向的古特提斯洋由东向西关闭,西侧的大西洋从北向南依次开裂 ($T-K_2$),印度洋同时散裂,古陆瓦解。(2) 幔流注入南半球导致半球胀裂并诱发热对流,南极洲进入极圈,欧、亚、非和北美北移并跨越极圈从北向南推进,北半球高纬圈被大陆环带充填 (仅在冰岛留下缺口)。(3) 地幔向南流动的科里奥利效应使其在北半球西偏而在南半球东偏, NWW 向螺旋型扭转压裂带形成,共轭剪切大圆网络左行错断并歪扭,南美—北美和澳大利亚—亚洲相对左行错移,联合古陆瓦解并纳入全球扭转构造体系。

洋半球 (图 5): (1) 整体轮廓被陆半球的扩张推进而压缩至今的太平洋域,周边被大陆主动边缘辗压带 (俯冲带) 迭覆,其具体位置取决于膨胀液压与周边围压的平衡;(2) 南胀北缩使北半球的俯冲边界保持半大圆轮廓,从北极南移到现位,受阻于剪切大圆② (图 4),并因边界压力而发育不连续的边缘海扩张脊或半掩盖的洋脊。南半球则发育连续的洋脊,并以三联点分支形式向外辐射,冲开南部俯冲边界,使洋域扩展到印度洋和德雷克海峡,将南极洲包围,南美南部基底浮升,俯冲倾角变缓 ($10^{\circ}-15^{\circ}$),智利脊三联点附近 (图 5Q 域) 扩张速度最高,成为全球膨胀液压最强区,并与最强压缩区青藏高原对跖,地幔对流的表流从弧形的东太平洋脊向压缩区辐集,另部分表流从东亚经北极地区 (图 5P 区) 返回北美。这种三维循环使得南胀北缩得以持续进行而不断增生新洋壳。(3) 与陆半球同步的左行扭转使南北

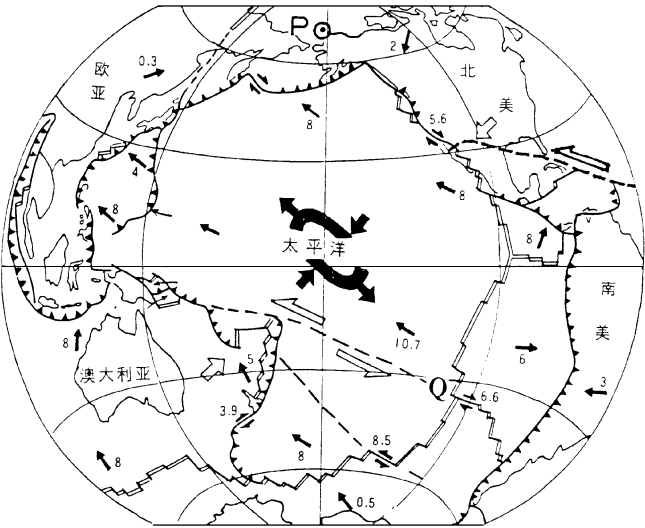


图 5 太平洋 (古洋半球) 整体构造分析

Fig. 5 Integral tectonic analyse of the Pacific Ocean (Old ocean hemisphere)

注记见文字说明,底图据文献 [11],原图短箭头为板块漂移速度 (cm/a) 矢量;

空箭头和中心应变椭圆是引用时后加

太平洋错断,在澳大利亚与北美之间形成蜂腰地带而向 NW 向伸长,沿长轴方向发育玻利尼西亚等非扩张海岭,短轴方向发育东太平洋脊和东亚边缘海扩张脊,整体应力场配套及板块漂移方向与全球扭转构造体系一致

3 地球体扭转的起动力源

地幔 SN 向迁移的起动力源,不可能来自地球重力场中的引力或自转离心力分量,而只能从地球多层次公转中的某一运转系统的离心力效应中探寻。

3.1 控制星体结构的公转离心力分量

星体的公转离心力场,有可能和自转离心力场一起,作为该星体重力场的分量而部分地控制其形体结构。只是在公转和自转旋面交角甚小,且自转角速度甚大的条件下,未能将公转效应单独分离出来加以识别和确认而已。月球特殊的运行方式和结构特征,为我们了解公转离心力场的效应提供了典型证例

月球在地月系中的公转和自转周期相等,恒以单侧面对地球。月球的极半径 (r_c) 最短,可视为自转离心力场的贡献;而地月连线方向半径 (r_a) 大于轨道切线方向半径 (r_b) 则难用自转离心力解释。在结构上月球背面月壳厚达 150km,而正面仅 60km,月海集中在正面且多月幔隆升所成的重力瘤,这种非对称性只能是公转离心力所造成。整个地月系的旋转使低密度的斜长岩质月壳甩向外侧,而月幔相对地移向公转中心。

据此可得出两点认识: (1) 持续作用的公转离心力效应可改变星体的结构; (2) 公转离心力对于天体具有单侧性,可驱动星幔向公转中心流动而星壳移到外侧。

3.2 地球在银河系内运转的公转效应

Sb 型旋涡星系银河系的旋臂沿着对数螺线 ($d = ae^{b\theta}$) 延伸。射电观测资料证明,比太阳系离银心远 ($3-24 \times 10^4$ l. y) 处的球状星团的转速 v 几乎不随距离 d 变化, $v = C$ (常数) 那么,便有角速度 $k = v/d = C/d$ 表明旋臂的形成与整个系统的旋转汇入运动有关,且存在角加速度。具有流体流入涵洞的涡旋运动特征^①。星体运动的轨迹并非圆或椭圆,而是对数螺线 (图 6),在旋入中曲率半径和周期缩短而角速度递增。

地球赤道面和银面交角 $62^\circ 36'$,地球体以转轴斜卧的方式在银面运行公转,并追随着太阳作螺旋形波动,短周期的进动轴倾并未改变这种运行姿势。这样,银心在地球坐标系中的方位便周期性地在南北回归线之间往复迁移,从银心穿过球心指向反银心方向的公转离心力轴也随之来回摆动。按现银河系半周期 125Ma 年估算, SN 向移动的速度约 $1^\circ/\text{Ma}$ (11cm/a)。但地史早期更慢些。对于以纬度 l° 为密度分割的地球体而言,该离心力实为百万年内滞留未动的持续力,与月球在地月系中方位恒定的离心力相似。在此情况下,地球的银河系公转离心力场,也应当迭加到自身的重力场之中,使之具有单侧性,迫使地球结构具有非对称性并导致扭转。

月球的岩石圈厚度超过 1000km,而地球的岩石圈厚度仅为 40-300km,且浮于软流圈之上。因此,地球内的大陆板块也可在微弱的离心力长期作用下甩移到反银心方位,而塑性地幔移向银心方位。实测板块漂移速度为 1.8-18.3cm/a 之间^[12],上述银心方位的纬度迁移速度约 11cm/a,恰是该区间中值,表明塑性地幔可以随着离心力矢量转动而同步流动。现实梨

① 同体健,简文天文字,北京大学非天文专业讲义,1989.317

形地球体的北半球纬圈扎缩带正对反银心方位。南半球纬圈膨胀带以及其中的全球膨胀液压最强区 (图 5Q 域) 则正对银心方位。表明地球在银河系内运转的公转离心力效应已驱动地幔注入南半球并诱发扭转。

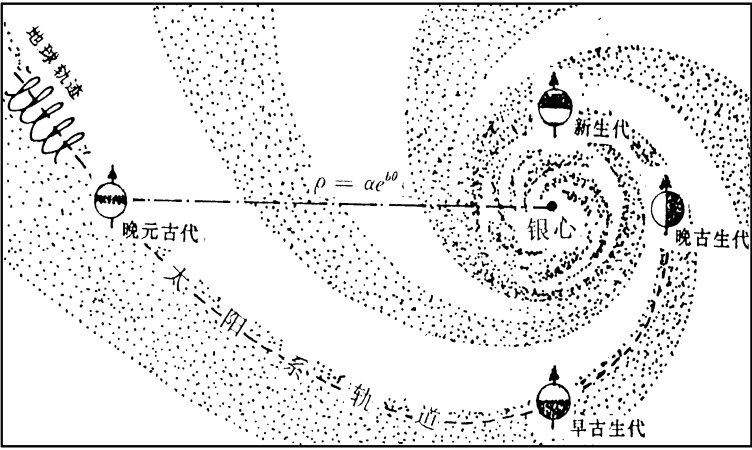


图 6 地球在银河系内的运行状态及其离心力对海陆的控制
Fig. 6 The revolving state of Earth in the galactic system and the ocean-continent distribution by the revolutionary centrifugal force
地球尺度夸大, 球内黑色为大陆, 白色为海洋, 箭头指正北

3.3 有关银河系公转效应的其它佐证

将上述地球在银河系内运转的离心力场对于自身质量分布和形体结构的影响称为银河系公转效应。如果此效应是真实的, 则它必在地史过程中以及在同类天体中有所表现。

在地史上, 可将海陆分布的格局简化为 4 种类型, 将这些类型按照时空顺序同地球在银河系运行轨道相拟合, 即可看出图 6 所示的因果关系: 元古代型, 银心对赤道, 地球自转速度快, 古老陆核沿赤道围成陆环; 早古生代型, 银心移到北半球, 陆环聚到南半球, 南陆北洋半球对跖; 晚古生代型, 银心返回赤道, 洋陆半球 EW 方位对跖; 中新生代型, 银心移入南半球, 正在形成之中的南洋北陆半球对跖。

在同类的与地球共旋面的行 (卫) 星中, 扭转变形相当普遍, 金星岩石圈厚为 10km 量级, 其表面起伏与重力正相关。一个 NWW 向平原低地带从北部的 Sedna 平原经 Guinever 延伸到南部的 Aino 平原, 呈螺旋形盘绕星球一周, 与地球 (图 3) 极为相似。此外尚有纬向、经向和 NW 向裂谷, 长达 20000—8000km 并见普遍的扩张和褶皱现象, 其应力场与全球扭转构造体系相似。

火星三轴不等长, 南北不对称, 北半球熔岩覆盖的平原与南半球古老陨击区对跖, 两者在西半球的界线为 NWW 向的丘状起伏侵蚀地带, 带内有同向断裂断续相衔, 此带跨赤道至东半球南部, 从塞尔斯隆起以南向阿尔及尔盆地方向延伸, 成为一条 NWW 向盘绕星球的螺旋型带, 并与赤道偏南的 Tithonius 大峡谷走向趋同。这表明星球已发生扭转变形, 但强度稍低。

月球的正面以雨海为中心, 环绕着冷、澄、静、酒、湿诸海和风暴洋, 组合为 NWW 向的椭圆形古老洋壳区, 从椭圆长轴向 SEE 成带散列着南海和理想海等, 所有这些海的边缘往

往发育 SN 向、近 EW 向和弧形断裂，表现为狭长的月谷。在总体上显示出月球轻度扭转的特征。

4 结束语

扭转是自然界常见的应变形式，扭转火山弹、雷公墨等屡见不鲜。室内模拟实验可以再造扭转过程及其应变场组合特征^[3,13]。但对地球体和星体而言，证明其内部扭转变形的事实并揭示其内在机理的实验难度甚大，推想可用有限元法计算模拟或做模型在人造地球卫星失重的条件下模拟。

本文写作过程得到陈庆宣、孙殿卿、沈淑敏、黄汉纯、马宗晋、刘德良等的指导、鼓励和帮助，借此感谢。

参 考 文 献

[1] 张永鸿. 全球扭转构造体系结构要素分析 [J], 地质力学学报, 1998, 4 (3): 9- 19

[2] K 兰伯克. 地球自转的变化 [M]. 李志安, 等译. 北京: 地震出版社, 1988.

[3] 张永鸿. 地星演化 [M]. 南京: 南京大学出版社, 1996. 251.

[4] Zhang Yonghong, Yan Jizhu. Deformation and Evolution of the Earth [C], 30th International Geological Congress, 1996.

[5] Faye Yates, Core Spins Faster Than Earth. Lamont Scientists Find [J/OL]. [http // www. ldeo. columbia. edu / song / pr. html](http://www.ldeo.columbia.edu/song/pr.html). For use after 5P. M. E. D. T, July 17, 1996.

[6] H 阿尔芬, C G 菲尔塔玛. 宇宙电动力学 [M]. 戴世强译. 北京: 科学出版社, 1974.

[7] 倪永生. 地磁学简明教程 [M]. 北京: 地震出版社, 1990.

[8] 王鸿祯. 地球的节律与大陆动力学的思考 [J]. 地学前缘, 1997, 4 (3): 1- 12.

[9] G Noller. 地震层析成像及其应用 [M]. 王椿镛, 等译. 北京: 学术出版社, 1989. 207.

[10] G D Garland. 地理物理学引论. 陈, 等译. 北京: 地震出版社, 1987. 217- 220.

[11] Moore Georg W, Niskeno Stuart P. Earthquakes and Landslides, Explanatory Notes for the Natural Hazards. Map of the Circum-Pacific Region Pacific Basin Sheet (1: 17000, 00) [M]. U. S. Geological survey, Denver, 1990. 21- 25.

[12] Frank Press, Raymond Siever, Earth, New York W H Freeman and company. 1981.

[13] 黄汉纯. 几个模型试验 [C]. 地质力学丛刊, 第一号. 北京: 地质出版社, 1959.

THE ORIGIN AND MECHANIAM OF THE COUPLED TWISTING OF EARTH S SPHERICAL LAYERS

ZHANG Yonghong

East China Bureau of Petroleum Geology, MGMR 225002

Abstract The global torsion tectonic system does not only involve the surface but also the interior of the spherical Earth. This paper describes emphatically the mechanism of the coupling of twisting of the Earth's individual spherical layers, that controls the plate tectonics.

There is an inclination of $62^{\circ}36'$ between the Earth's equator and the galactic equator. When the galactic center moves from the north to the south of celestial sphere, the plastic mantle of the Earth will migrate towards its southern hemisphere and the continental plate will drift to its northern hemisphere under the control of the centrifugal force of revolution. Such a process will lead to the asymmetry of southern and northern hemisphere and a twisting of the two hemispheres. So there is a correspondence between the rhythm of the Earth's continental drift and the cycle of spirals of the galaxy. In solar system planets (or satellites) which revolves in the same way as the Earth will undergo a synchronous twisting.

Key words antipodal law of oceans and continents; great circle of conjugate shearing; effect of revolutionary centrifugal force; pear shaped outline of Earth