

\*\*\*\*\*  
研究简报  
\*\*\*\*\*

# 固体地球中的潮汐机械能流

池顺良

(中国河南鹤壁市 456650 鹤壁市地震办公室)

骆鸣津

(中国郑州 450000 河南省地震局)

## 一、耗散系统中的能流

在追踪能量的传递与转换中,能流概念甚为有用.各种能量如电磁能、机械能、热能等,凡是能够传递的能量均有其相应的能流形式.从耗散结构理论可知,系统中流动的能流在耗散结构的形成中起着重要的作用,引起某种自组织过程的发生,导致系统原始对称结构的破缺,并形成某种特殊的空间结构及时间演化序列.

把固体地球看作一耗散结构系统,这个系统的能量转化过程将由以下几种能流所引起 (Degroot and Mazur, 1981):

(1) 由作用于体系的机械功引起的能流密度

$$-\mathbf{P} \cdot \mathbf{v} \quad (1)$$

(2) 对流能流密度

$$\rho \left( -\frac{1}{2} \mathbf{v}^2 + \psi + u \right) \mathbf{v} \quad (2)$$

(3) 由各种组元在力场中扩散所引起的势能通量

$$\sum_k \psi_k \mathbf{J}_k \quad (3)$$

(4) 热流

$$\mathbf{J}_q \quad (4)$$

在现今地球内部条件下,这几种能流中主要起作用的是(1)、(2)、(4)三项,其中(2)、(4)两项反映了热能流的流动.因此,固体地球中的能流主要有:(1)反映地球中放射性热能散逸的热能流;(2)目前还较少被注意的固体地球中的机械能流.

对于地球这个耗散系统,地壳运动所需的能量只能是由在固体地球中流动的某种能流所提供,并经某种机制以小于 1 的效率转换成地壳运动的能量,即地壳运动所需的能量只能来自某种能流的散度.

二、固体地球中能流量级的估计

根据地球物理等方面的研究知道,地球从生成以来已释放的放射性衰变能约为  $(6-20)\times 10^{30}\text{J}$ , 释放的自转动能约为  $15\times 10^{30}\text{J}$ , 其它的能量在量级上要小得多(傅承义等, 1985)。

从全球地震活动能等方面的估计, 提供地壳运动所需能量的下限约为  $10^{19}\text{J/a}$ 。这就决定了只有热能和自转动能这两种能量能成为地壳运动的力源。

放射性衰变热能是当前力源研究中最受人瞩目的, 它也是地幔对流假说的原动力。地球内部的热能流我们无法直接测量, 且受可能存在的“地幔对流”形态的影响极大。但其值仍可根据地表的平均热流推断。根据实测, 地球表面的平均热流为  $0.06\text{W/m}^2$ 。此值大致反映了地球中热能流的大小。

固体地球中因自转而产生的机械能流由(1)式计算。  
固体地球中存在潮汐应力、极移应力、自转变化离心应力及相应的位移速度。计算和实测结果告诉我们, 其中最主要的能流由潮汐作用所引起。表 1 列出了固体地球中的几种应力和相应的位移速度的量值及这几种能流的量级。

由表 1 可见, 潮汐机械能流是固体地球中最大的机械能流, 数量达到  $0.1\text{W/m}^2$ , 与热能流同一量级。其它机械能流则十分微弱。

表 1 固体地球中因固体潮汐、极移、自转变化引起的机械能流量级的估计

应力类型	应力 (Pa)	位移 (m)	主周期	速度 (m/s)	能流 ( $\text{W/m}^2$ )
潮汐应力	$130\times 10^5$	0.7	12 小时	$10^{-5}$	$\sim 0.1$
极移应力	$7\times 10^5$	0.04	430 天	$10^{-8}$	$< 10^{-5}$
变化自转离心力	4	$10^{-1}$	9 天、14 月、18 年	$< 10^{-8}$	$< 10^{-7}$

起因于放射性的热能流及起因于地球自转的潮汐能流成为地壳运动成因探索中特别值得注意的因素。

根据全球的热流测定, 海洋和大陆的平均热流十分接近, 全球热流的分布没有明显的纬度效应。而潮汐能流的分布由于与地球自转有关, 因而有明显的纬度效应。

三、地壳运动强度的纬度效应

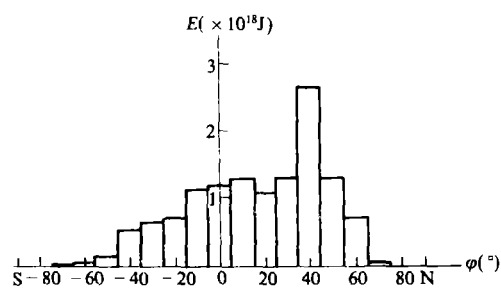


图 1 全球地震释放能量的纬度分布

地质学家可能会同意地壳运动与纬度有关的想法。不少地质学家指出过  $35^{\circ}-45^{\circ}$  纬度带是地壳运动的活动区。一般认为, 地壳运动由振荡运动、断裂运动、地震活动、岩浆活动等组成, 地震活动是地壳运动的重要形式。目前, 只有地震活动我们能对它的活动强度进行计算。下面我们用地震活动释放的能量作为标尺分析地壳运动强度分布。

图 1 给出了 1897 年到 1980 年间全球发

生的 835 个 7 级以上大地震释放的能量随纬度的分布图(国家地震局情报资料室).地震能量由能量、震级公式计算.

$$\lg E = 11.8 + 1.5M \quad (5)$$

由图可见,全球地震活动的纬度分布有两个明显的特点:一是纬度高于 73 度的地区没有 7 级以上的地震,说明两极是地壳运动的不活跃地区;二是南北半球地震活动的不对称.在北半球可以看到地震活动的峰值带位于 40 度纬度带的明显现象,而在南半球,除了极区地震活动微弱与北半球相似,在南纬 40 度地区并无明显的能量峰值.

全球地震活动的这种不对称分布,现在被看作地球耗散系统由于复杂的地幔对流及板块相互运动,原始对称地壳结构对称性自发破缺的结果.虽然,为何两极地区的板块边界缺少地震活动这一现象仍令人困惑,但是对于全球地震活动的不对称性,一般不再探究.

这里我们试图探究这种南北不对称性的缘由.也许我们可以在考虑某种因素后,使对称性得以恢复,就像在粒子物理中,弱相互作用下宇称对称的破坏,可以在考虑到电荷共轭后恢复.这样也许能帮助揭示地震活动的内在根源.

从地球表面看,南北半球另一个明显的不对称现象是两半球大陆和海洋面积的不对称,如果统计单位陆壳面积(以大陆坡为陆壳与洋壳的分界线)上的地震能量分布,就得到了南北对称的结果.这个统计量的物理意义类似于光学中的“发光亮度”,我们称它为“地震能量发射强度”.图 2 显示了统计结果.“地震能量发射强度”的分布是南北对称的,峰值出现在南北纬 35°—45° 处,其值约为潮汐能流强度的 0.1%.

引进“地震能量发射强度”的概念似乎不太合理,因为有不少地震是发生在海洋中的.按上述统计无疑是忽略了洋壳对地壳运动能量的贡献.但是,注意到发生在大洋中的地震,如大西洋中脊的地震大多在 5 级左右,对总能量的贡献不大.以大陆坡为分界,大部分强震都发生在陆壳边缘内和大陆内部.因此,认为地震活动以及地壳运动主要与陆壳有关,洋壳单元的贡献较为次要似乎并非没有道理.略去次要的洋壳活动,只统计占主要能量的陆壳活动,使全球地震活动能量分布的对称性得以恢复,并得到了全球地震活动明显的纬度效应.

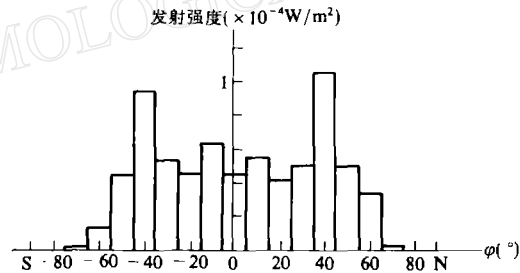


图2 单位陆壳面积地震能量发射强度的纬度分布

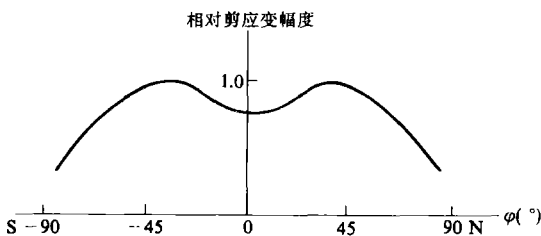


图3 潮汐剪应变的相对纬度变化

在地壳运动的热力和潮汐力两种力源中,潮汐作用同样具有纬度效应.因此,全球地震活动及地壳运动和潮汐作用间有可能存在某种因果联系.一些作者认为(李瑞浩,1988),地壳运动可能与潮汐剪应变有关,固体潮应变有可能转化成地震能源.潮汐剪应变的纬度分布形态(图3)与“地震能量发射强度”的形态相似也许是某种佐证.

## 四、洋壳、陆壳的区别及地壳运动

洋壳与陆壳构造并无本质的区别,主要的不同点仅是壳的厚度不同(Резанов, 1982)。但从动力地质学的角度看,陆壳与洋壳有重要的区别,那就是陆壳经受着强烈的风化剥蚀等外动力地质作用,因而负荷重新分布的外动力作用十分强烈,而洋壳经受的外动力地质作用却很微弱,在洋底可以找到大片地形坡度小于 0.1% 的平原。如果我们把内动力地质作用和外动力地质作用看作地壳运动中一对互相依存的作用,那么,由于洋壳中缺乏外动力地质作用,洋壳中的构造运动相对微弱的原因就较易理解和寻找。在目前流行的板块理论框架中,难以解释为何薄的洋壳构造变形微弱并呈现刚性,巨厚的陆壳却变形剧烈而缺乏刚性。

上面指出,地壳运动和潮汐能流间可能存在某种因果联系。既然潮汐能流的量值和热能流不相上下,而且从热力学角度看,潮汐能是较高级的机械能,后者是较低级的热能,因而潮汐能会有更高的转化效率。因此,期待发现固体潮汐机械能流在地壳运动中具有重要的作用,不会是毫无根据的设想。

潮汐作用的能源最终来自地-月系统的转动能。由于存在天体的引潮力及弹性地球的变形,随着地球的转动,形变峰不断的转移,地球就像有生命的物体一样不断地伸缩、呼吸,巨大的能流在地球周身不断流动,使得地球的自转动能这一巨大的潜能有了转化的可能。

至于这股固体地球中最大的能流究竟与地壳运动如何建立起关系,如何在固体地球中的弹性缺陷区发生能量的转化成为地壳运动的力源,我们将另文探讨。

## 参考文献

- 傅承义, 陈运泰, 祁贵仲, 1985. 地球物理学教程, 77—79. 科学出版社, 北京.  
国家地震局情报资料室, 全球大地震目录(公元 1897—1980 年,  $M \geq 7$ ), PP 51.  
李瑞浩, 1988. 重力学引论, 265. 地震出版社, 北京.  
Degroot, S. R. and Mazur, P., 1981. 陆全康译, 非平衡态热力学, 8—14. 上海科学技术出版社, 上海.  
Резанов, И. А., 1982. 孙德佩译, 大洋的起源, 134. 科学出版社, 北京.