

全球大震活动与地球自转速率的关系

安 欧

(国家地震局地震地质大队)

摘 要

地球自转及其速率变化是地壳构造运动的重要动力来源,其水平原动力有两种:由两极压向赤道的力,与地球自转角速度平方成正比;东西向的力,与地球自转角加速度成正比,其大小按纬度的分布与全球大地震频度随纬度的分布一致。所造成构造应力的主方向与全球6级以上地震震源机制解得的震源同性质主应力方向及地震带走向的统计结果相符。取其能量的1%,已足够供给地震释放。

在地球自转及其速率不断改变的情况下,由于各地块之间的相互作用所产生的构造应力场中,各点主应力的方向和大小,不仅与地球自转状态有关,还与由此引起的各地块之间的相对运动和相互作用有关,它使得各地块中的应力分布受各自边界条件的影响而在各地区有所不同。因之,构造应力场有其全球的统一性,又有各地块特殊条件所决定的各自的特点。在此,拟以地块为单位,讨论地球自转角速度及其变化趋势所引起的构造应力场与全球大地震活动的关系。

一、地球自转角速度及其变化趋势引起的水平构造应力场

地球以均匀角速度 ω 自转时,地壳中质量为 m 的地块上作用有一方向垂直地球自转轴的离心力

$$F = m\omega^2 r \cos\phi,$$

x 是地块质心到地球自转轴的距离, r 是地块质心到地心的距离, ϕ 是地理纬度。 F 为指向赤道的南北向水平分力

$$t = F \sin\phi = m\omega^2 r \sin\phi \cos\phi. \tag{1}$$

地球变速自转时, ω 增加 $\Delta\omega$, F 增加 ΔF 。由于

$$F + \Delta F = m(\omega + \Delta\omega)^2 x = m\omega^2 x + m[2\omega\Delta\omega + (\Delta\omega)^2]x,$$

得

$$\Delta F = m(2\omega + \Delta\omega)\Delta\omega \cdot x.$$

则南北向水平分力的改变量

$$\Delta t = \Delta F \sin\phi = m(2\omega + \Delta\omega)\Delta\omega \cdot x \sin\phi,$$

此改变量的大小与 t 相比甚小, 故即使有其出现, $t + \Delta t$ 仍然与 t 同方向。此时又由于地块有一东西切向加速度 a_r , 而作用有一东西水平力

$$\tau = ma_r = m \times \varepsilon \quad (2)$$

ε 为地球自转角加速度。

根据天体形成的均变说, 行星是由星际物质旋转收缩凝聚而成。星际物质中的各质点和小天体, 原系沿固有轨道作各自的惯性运动, 由于互相进入了引力场范围而相互发生了作用, 从而改变了各自的轨道。当缩聚为一个新天体时, 这种惯性运动的作用就成了新天体自转的原动力。各小天体相互接触的界面, 就成了地球原始的不连续面。在深部由于温度较高而熔结起来, 在壳层和上地幔上部这种接缝则一直保留了下来, 并为后来的构造运动所改造, 使得其走向逐渐规整化, 和后来形成的断裂一起组成了今日的断裂构造。故地球作为一个天体, 并非一开始就是一个球, 也并非后来才有断裂构造。它一开始就是一个形状不规整并带有许多不连续面的作着惯性自转的物体。可见, F 和 τ 从成因上说都属惯性力, 但对地球来说又都是使地球自转的主动动力。

地块指向赤道的南北向水平力 t , 由 (1) 式知与 ω^2 成正比, 只要地球自转, 这个力就存在且方向不变。东西向水平力 τ 的方向, 由 (2) 式知随角加速度的正负而异。地球自转方向是自西向东, 故当地球自转加快时, ε 为正值, 由 (2) 式知 τ 亦为正, 则其方向与地球自转方向相同, 即由西向东; 当地球自转减慢时, ε 为负值, 由 (2) 式知 τ 亦为负, 则其方向与地球自转方向相反, 为由东向西。于是, 当地球自转加速时, 在北半球, 地块的指向南的 t 与指向东的 τ 之合力方向, 在北西一定角域内, 指向南东; 在南半球, 由于 t 的方向指向北, 则其与 τ 的合力方向在南西一定角域内, 指向北东。当地球自转长期加速, 由于指向东的 τ 取决于 ε , 经充分调整作用较强, 使得 t 与 τ 的合力方向偏近东西, 而分布在近东西的一定角域内。此时, 由 (2) 式知 τ 越近赤道越大, 则相对其南北侧质量相近地块而言, 在北半球又有一南部向东北部则相对向西而在南半球则为北部向东南部相对向西的东西向剪切力作用。当地球自转处于加快到减慢或从减慢到加快的转折过程中, 以角速度瞬时相对变率年均值变化幅度小于 $5 \times 10^{-10} \frac{\Delta\omega}{\omega}$ 的时段为地球自转匀速阶段, 由于此时 ε 近于或等于零, 则由 (2) 式知 τ 亦近于或等于零, 此时只有在北半球指向南而在南半球指向北的分布在一定角域内的 t 起主要作用。当地球自转减速时, 北半球地块的指向南的 t 与指向西的 τ 的合力方向, 变动在北东一定角域内, 指向南西; 而在南半球指向北的 t 与 τ 的合力方向则变动在南东一定角域内, 指向北西。当地球自转长期减速, 由于指向西的 τ 取决于 ε , 因调整作用较强, 使得 t 与 τ 在全球的合力方向偏近东西, 而分布在近东西的一定角域内, 此时由于 τ 越近赤道越大, 则在北半球相对其北部质量相近的地块而言, 又有一个南部向西而北部则相对向东的东西向剪切力作用; 在南半球则为北部向西而南部相对向东的东西向剪切力作用。

上述地块上作用的合力方向, 与由它们所引起的地块边界附近同性质构造应力的主方向之间, 由于边界界面摩擦强度的不同和地块力学性质结构的复杂性, 而不会完全一致。由实验知, 影响二者方向差 α 的, 主要是前者。取地壳条件下的裂面静摩擦系数 μ 的最小值为

0.3, 则由 α 与 μ 的实验关系曲线知, 相应的最大 α 不超过 30° 。因之, 上述地块上作用的合力方向与它们所造成的地块边界附近同性质构造应力的主方向, 在地球自转的各种状态, 应大致上分布在同一象限或近 90° 的角域内。

现代构造应力场, 发生在已存在的古构造和古地形基础上, 以古构造和古地形为起始条件。取地块南北长为两条巨型纬向构造带间距之半〔1〕, 则由于其南北向水平力的作用, 在纬度 45° 对其低纬度一侧围岩产生的地表最大水平压应力可达 110 千克/厘米², 此种应力向极地和赤道减小。取地块东西长为全球性巨型经向大断裂间距之半, 则由于其东西向水平力的作用, 在赤道对被其推进的东侧或西侧地块压缩产生的东西向地表最大水平压应力可达 5.2 千克/厘米², 此种应力向极地减小。由于大陆地表和海洋底平均高差 5 公里, 而在地球自转角速度改变时产生的东西向水平惯性力, 在赤道从地表向下增加的平均梯度约为 2.3 千克·厘米⁻²/米。在纬度 45° 处约为 1.6 千克·厘米⁻²/米。这与现今地壳水平应力随深度增加的测量结果相近。于是在赤道从地表向下 10 米深处的东西向最大水平应力约为 28.2 千克/厘米², 在 20 米深处约为 51.2 千克/厘米²; 在纬度 45° 深 10 米处约为 19.8 千克/厘米², 20 米深处约为 35.8 千克/厘米²。这与世界各大区地应力测量结果, 在数量级上是符合的。

二、地球自转速率及其变化与全球大震活动的关系

地球自转这个地壳运动的能量来源, 用于地震能量释放是很充分的。地球自转惯性矩 I 平均为 8.118×10^{44} 克·厘米², ω 平均取为 7.292×10^{-6} [弧/秒], 地球自转动能 $E = \frac{1}{2} I \omega^2$

中, 随季节变化而释放的部分经希廷斯基算得为 1.24×10^{29} [尔格/年]〔2〕。取其百分之一, 便与全球地震年平均释放能量 10^{27} [尔格/年]同量级。

在随时间的变化上, 近一百六十年来的地震频度与地球自转角速度相对变化率年均值有反向同步关系 (图 1)。这说明, 断裂的现代活动所附生的地震, 与地球自转角速度及其变化所引起的构造应力场, 有成因联系。

在空间分布上, 由 (1)、(2) 式知, t 由两极增至纬度 $44^\circ 57' 07''$ 处最大, 然后向赤道减少, 但不减至零。因为南北半球均压向赤道, 故赤道处仍有南北向压缩。 τ 在赤道最大, 向两极减小。使得由赤道至南北纬 50° 范围内的地块活动性比高纬度区强, 在纬度 40° 左右和赤道附近最强。这和斯托瓦斯统计的近三百年来全球毁灭性和破坏性地震频度随纬度的分布 (图 2)〔3〕是一致的。

在方向上, 从 $1922 \sim 1964$ 年全球 6 级以上地震震源机制解 (综合国内外研究结果) 得出的发震时震源水平主压应力优势分布方向, 与当时地球自转角速度变化趋势的对应关系 (图 3, 表 1) 可知, 这些优势分布方向所在角域, 与地球自转相应变化时期的 t 和 τ 的合力, 在地块边界附近所引起的主压构造应力分布方向所在的角域是一致的。

图 4 和表 2 给出了由全球 $1904 \sim 1972$ 年 7 级以上地震震中分布、震源机制解的断节面、地表地震断裂的走向、内等烈度线的长轴方向、震区地表形变、余震空间分布和所在断裂带的走向所共同确定的地震活动带的走向, 与发震时地球自转角速度变化趋势的关系, 结果与

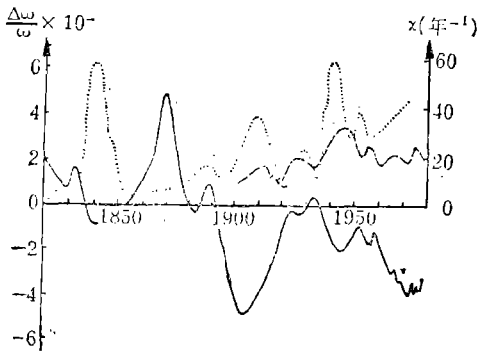


图1 地球自转角速度瞬时相对变率年均值(实线, 1820~1948据D. Brouwer, 1948~1976据北京天文台和北京师大223组, 1977年以后由作者完成)与全球7级以上地震频度三年平滑(虚线)及布列顿区域地震频度(点线)的关系

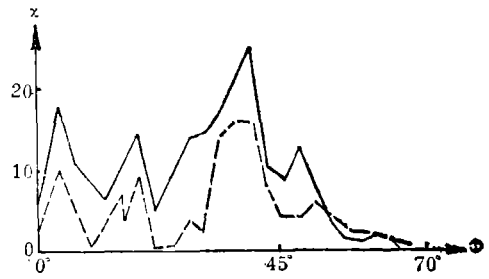
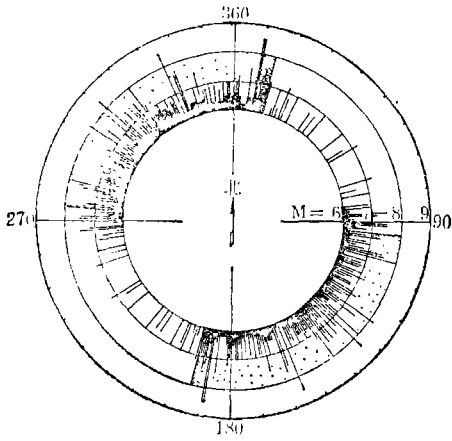
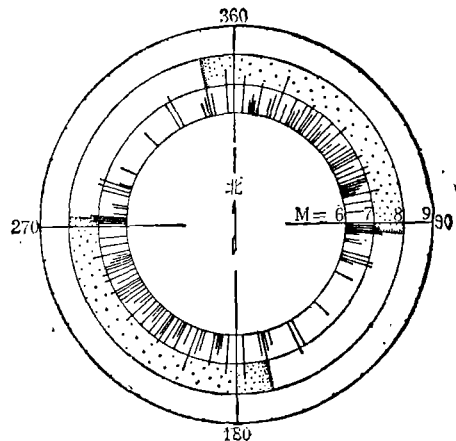


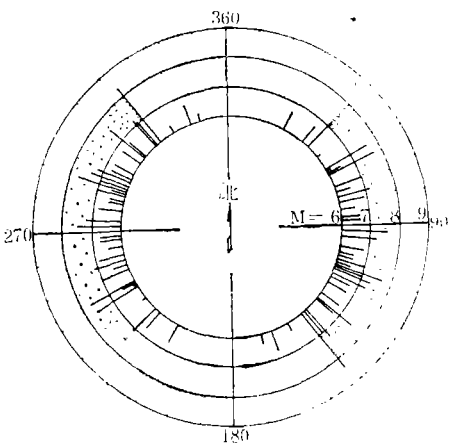
图2 全球毁灭性及破坏性地震频度(实线)和破坏性地震频度(虚线)随纬度分布图。



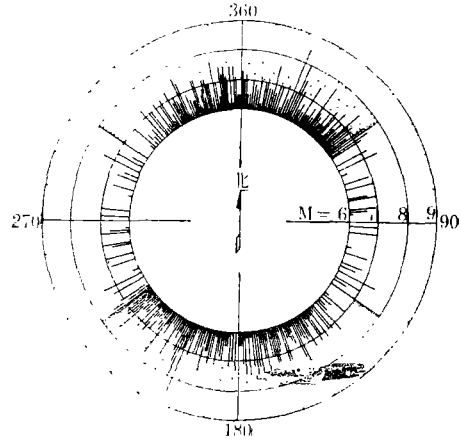
A 地球自转加速初期北半球发展的震源主压应力方向



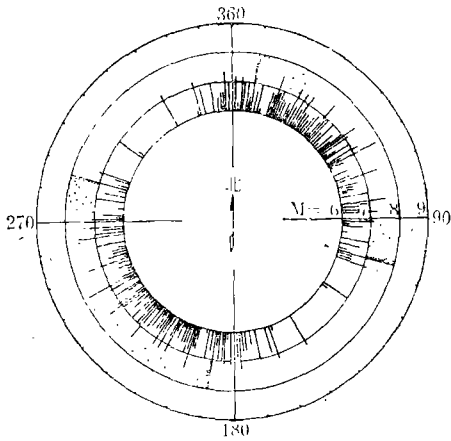
B 地球自转加速初期南半球发展的震源主压应力方向



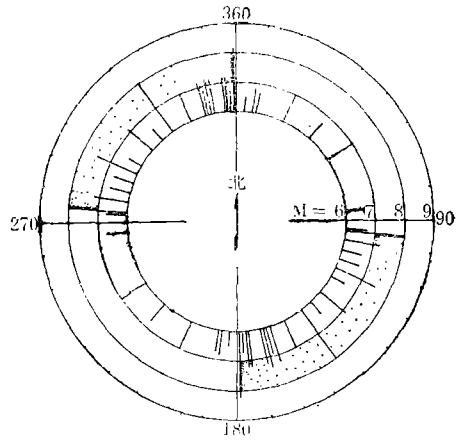
C 全球在地球自转加速两年以上发展的震源主压应力方向



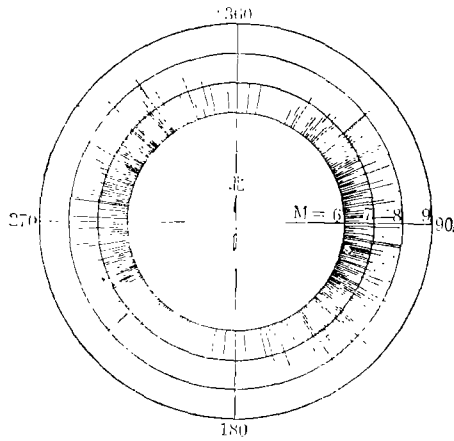
D 全球在地球自转匀速时发展的震源主压应力方向



E 地球自转减速初期北半球发震的震源主压应力方向



F 地球自转减速初期南半球发震的震源主压应力方向



G 全球在地球自转减速两年以上发震的震源主压应力方向

(图3)

表 11922~1964年全球6级以上地震震源机制解的水平主压应力方向与地球自转角速度变化趋势的关系

震源主压应力方向分布角域 区域	地球自转状态					
	地球自转加速初期	地球自转加速 两年以上	地球自转匀速	地球自转减速初期	地球自转减速 两年以上	
北半球	北西象限	东西90°角域	南北90°角域	北东象限	东西90°角域	
南半球	南西象限			南东象限		

上述分析也是一致的。从地球自转活动的地震带的走向与当时水平主压应力分布优势方向的关系看，这些地震带的走向正处在最易活动的最大剪应力面或最大剪切错动面方位。

上述结果，一方面是用地震活动验证了前述分析所得的结论，另一方面前述分析又是从

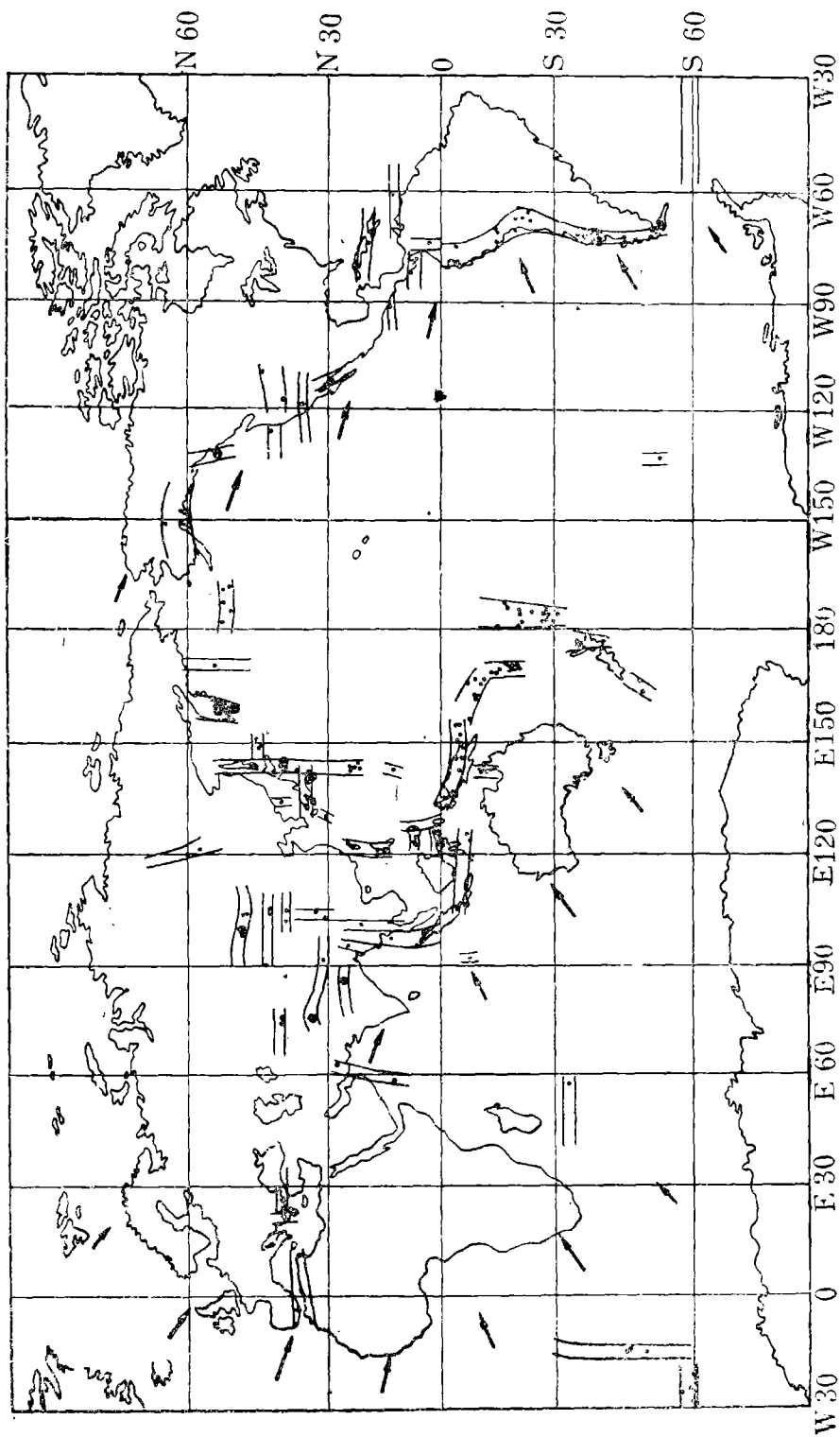


图 3 A 地球自转加速初期全球有 7 级以上地震活动的地震带

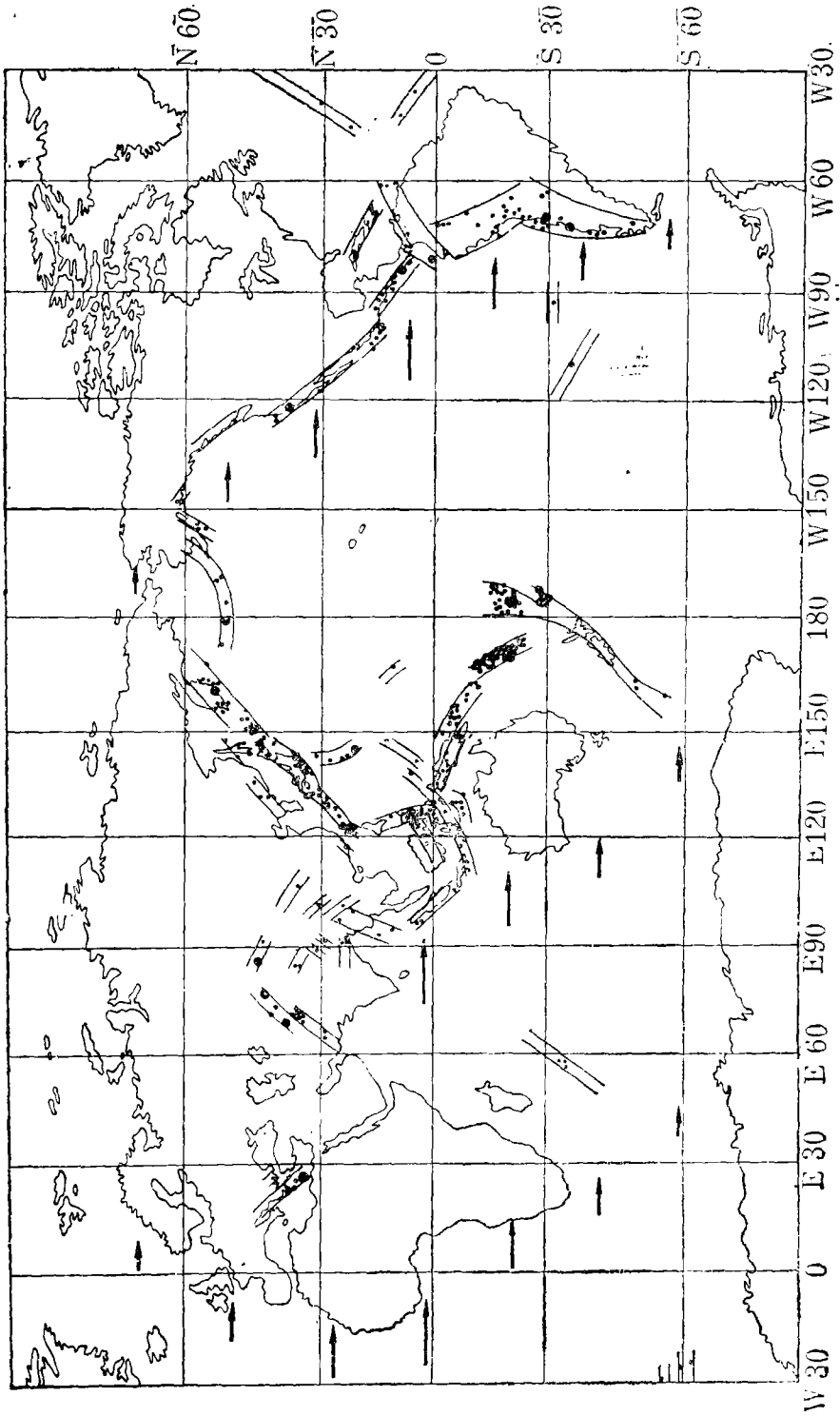


图 3 B 地球自转加速两年以上全球有 7 级以上地震活动的地震带

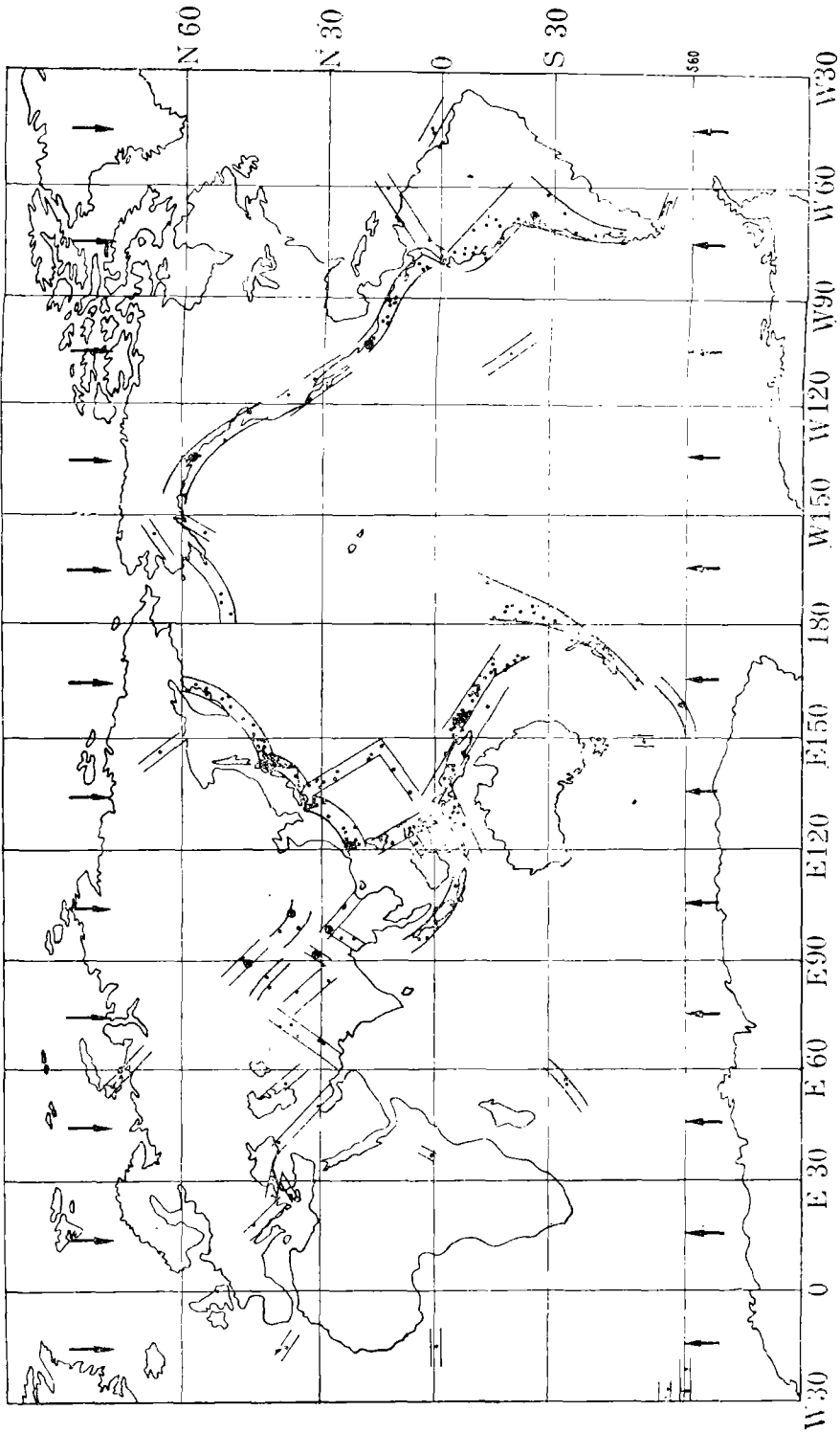


图 3 C 地球自转匀速率时全球有 7 级以上地震活动的地震带

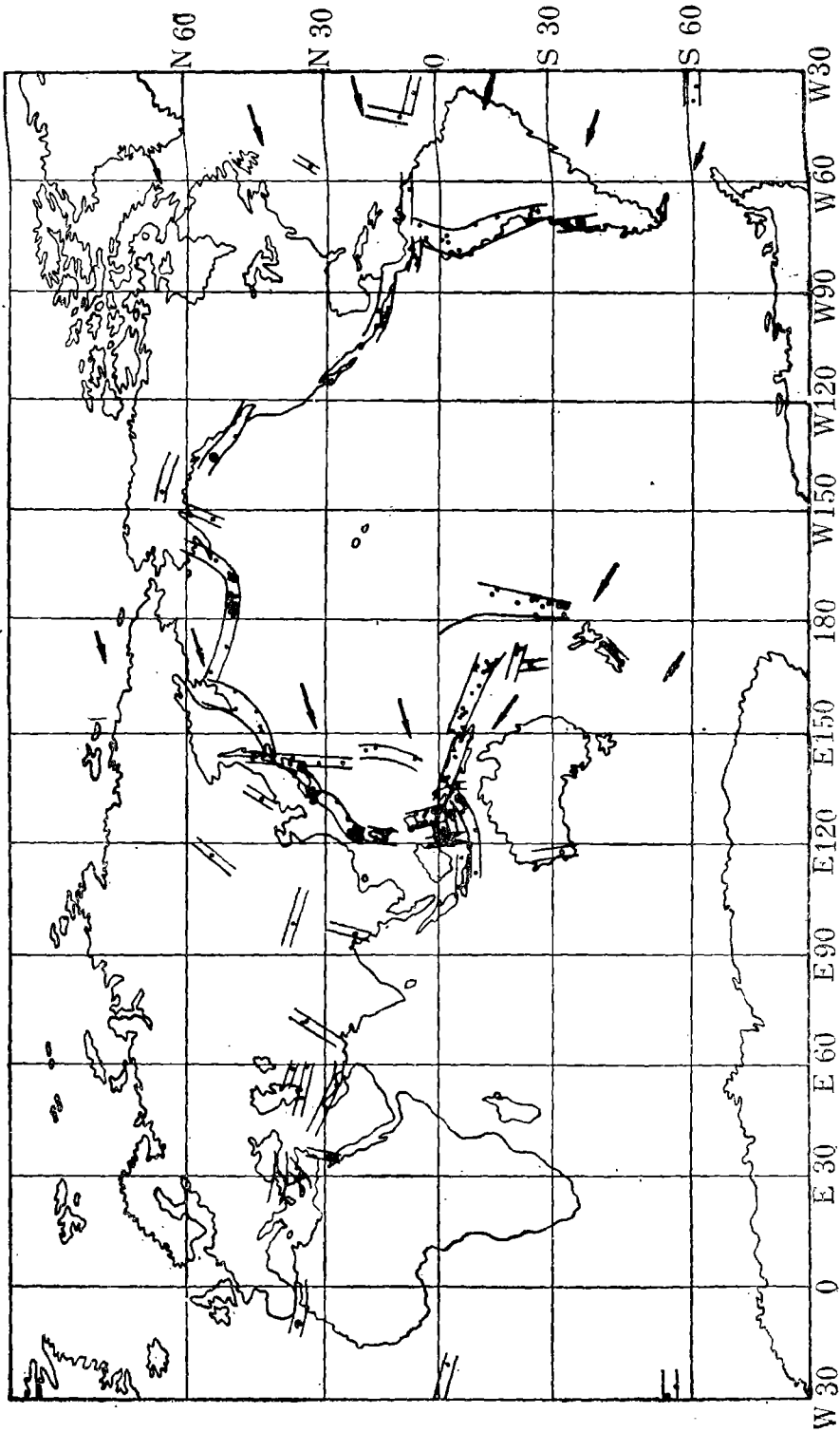


图3 D 地球自转轴附近烈度有7级以上地震活动的地震带

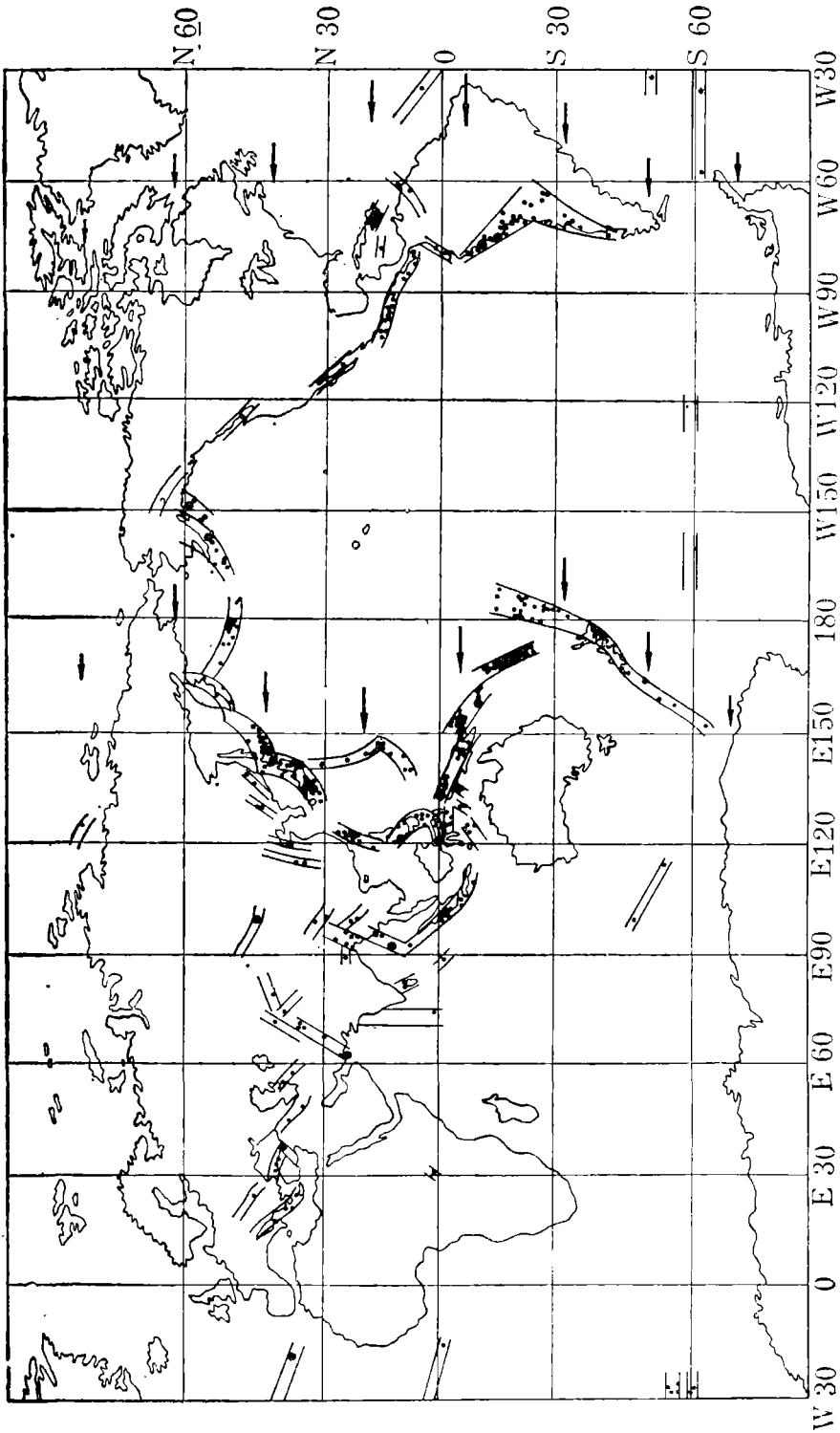


图3 E 地球自转减速两年以上全球有7级以上地震活动的地震带 (图4)

表 2 1904~1972年全球7级以上地震活动带的走向与地球自转角速度变化趋势的关系

活动地震带的走向 区域	地球自转状态	地球自转加速		地球自转减速	
		地球自转加速初期	地球自转加速 两年以上	地球自转匀速	地球自转减速初期 两年以上
北半球	东、西、南、北	北东、北西	北东、北西为主 北北东、北西西 层次	北北东、北西西	北北东、北东、 北西西、北西
南半球				南南东、南西西	

成因上说明了这些走向的地震带为什么在各自相应的地球自转变化趋势时期内活动；由震源机制解得的发震时主压应力方向的分布为什么有成近 90° 的角域随之一起进行转动的规律；全球7级以上地震的发震机制是以断裂的水平错动为主，图4中的小黑点为7~7.9级震中，大黑点为8~8.9级震中，少量其它走向的地震带活动说明还有少数或较小地震是以断裂的冲压、地块平行受力方向的剪切错动和张裂为发震机制。

图3、4中各个地球自转变化趋势时段中的地震，均是取各时段到其结束再向后推移半年内发生的，否则无上述规律。这说明，上述规律同时也反映了地球自转变化趋势对以后发生地震的影响，在时间上可较快也可错后半年，这相当于地球自转变化趋势的作用可较快地也可能需要经过半年才能影响到发震。它也说明，地球自转变化对构造应力场所起的作用，有一个传播和调整过程，完成一个地球自转变化到其影响地震的发生所经历的过程，可以很短，也可延长到半年时间。

(1984年1月23日收到初稿)

参 考 文 献

- 【1】李四光，天文地质古生物，科学出版社，1972。
- 【2】А. Д. Сытинский, Информ. Бюл. САЗ. 28, Р. 5, 1961.
- 【3】М. В. Столвас, 地球自转的不均衡性——地球形态及大地构造的因素，张宏仁等译，地质力学丛刊，第1号，1959，地质出版社。

RELATIONSHIP BETWEEN ACTIVITY OF LARGE EARTHQUAKES IN THE WHOLE WORLD AND ROTATION SPEED OF THE EARTH

An Ou

(*Seismogeological Brigade, State Seismological Bureau*)

Abstract

The earth's rotation and its speed change are important force sources of tectonic movement of the earth's crust. They have two kinds of horizontal primary forces—the force pressing from two poles to the equator and the force on EW direction, the former is in direct proportion to square of angular velocity of the earth's rotation, the latter is in direct proportion to angular acceleration of the earth's rotation. The distribution of value of the two forces with latitudes is in accord with the distribution of large earthquakes frequency in the whole earth with latitudes. The principal directions of tectonic stress caused by the two forces are consistent with the same principal stress direction in sources obtained from source mechanism of $M_s \geq 6$ earthquakes and with the statistical result of seismic belt strikes in the whole earth. 1 per cent of the energy which is caused by speed change of the earth's rotation is enough for earthquakes release.