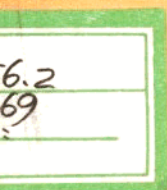
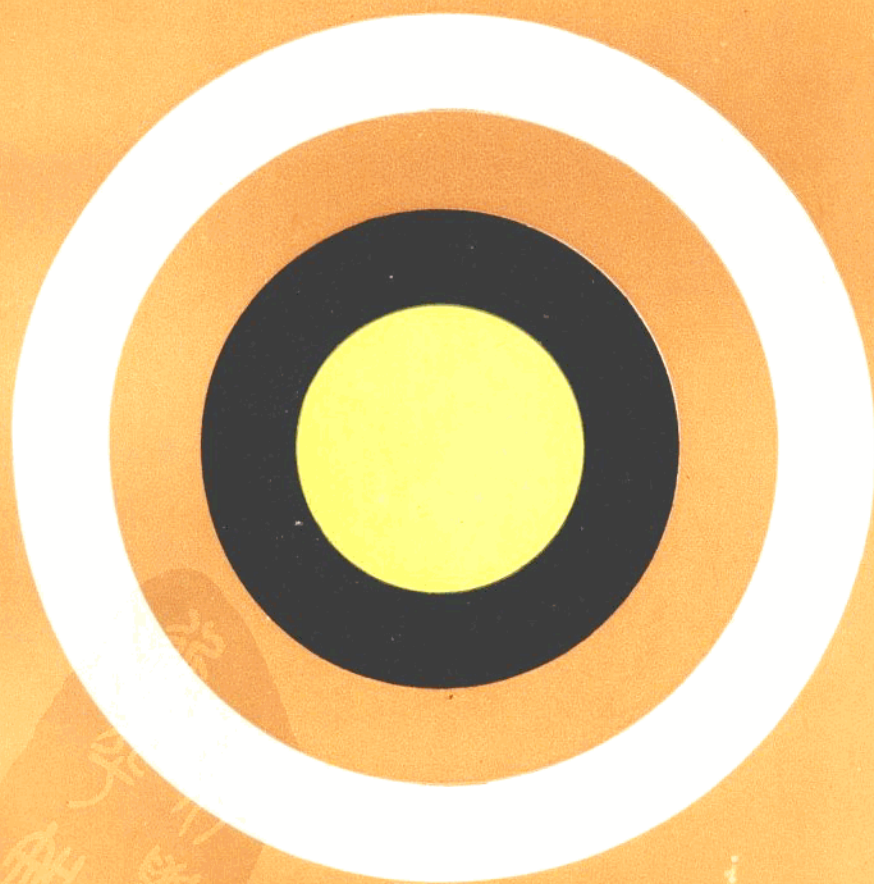


地球动力学进展

李致森 高建国 主编

海洋出版社



序

天文地球动力学是用天文手段研究地球各种运动状态及其力学机制的一门学科。它所研究的运动是指地球整体的自转和公转运动，并涉及地球内部，地壳，水圈，大气圈的物质运动。这些运动的力学机制牵涉到：地球内部的结构，物理性质和物质运动，如地核与地幔，地幔与地壳的相互作用；地磁场和重力场的精细结构及其变化；地球水圈和大气圈的大规模物质运动；地球所在的宇宙空间中的引力场和电磁场的相互作用以及地球和太阳系的起源和演化等。因此，天文地球动力学是天文学与地学（特别是其中的大地测量，地球物理，地球化学，地质，地震和气象等学科）相互交叉，相互渗透的一个新的分支学科。除了对这上述基础理论的研究有重大意义外，地球自转速度与极移的研究，还关系到确定地面观测站在宇宙空间的精确位置和地球坐标系在空间的指向，这是地面精密测绘和宇宙飞船跟踪所需要的参数。板块运动和断裂位移则是大地测量和地震监测所需要的资料。板块和断裂构造同地下矿藏，能源的分布有关。所以，天文地球动力学还具有明显的实用意义。

我国天文地球动力学的研究集中在探索地球自转运动和地壳运动的规律与机制，探讨地震与天文因素的关系等方面。从七十年代初期开始，由于对地震灾害的深切关注，我国天文地学工作者已逐步在地震和极移方面，地震和地球自转速率变化方面，地震和垂线变化方面，地震和固体潮方面，地震和其它天文现象方面铺开了研究工作，开展了地震规律与机制的探索，取得了一批成果，同时也推动了不少工作。本文集也正反映了这一动向。

今后我们要注意利用国内的学术讨论会，讨论班等机会，多做交流，还要加强地学、空间科学和天文之间的渗透，活跃学术空气。

叶叔华

一九八五年六月四日

目 录

序.....	叶叔华
地球自转和地震关系研究进展.....	李致森 高建国 (1)
环境因子与地震预报.....	郭增建 秦保燕 孙光宇 (9)
震活动的周期特征及其可能的物理机制.....	朱岳清 邢如英 (16)
震级标度和其它地学天文学参量标度的对比.....	郭履灿 高建国 (22)
地震成因的局域模式.....	任光耀 (33)
震前时纬残差异常的补充证据.....	李致森 张国栋 (37)
地震年度周期与地球自转季节性变化.....	李愿军 (44)
太阳活动、行星会合与地震活动关系的初步清理与评价.....	洪时中 (48)
地球的结构和内部关系.....	陈传康 (51)
等离子体彗星和地球磁扰之间的关系剖析.....	李中元 (56)
现代气候学发展的特点及指导思想.....	张家诚 (61)
同步卫星上地球辐射温度的测量与应用.....	邓镇昆 (67)
利用日月五星周期叠加进行气象要素预报的研究.....	周万福 (71)
后记.....	(74)

地球自转和地震关系研究进展

李致森 高建国

(中国科学院北京天文台)

地震乃是对人类生命安全威胁很大的一种天灾。我国拥有长达数千年的历史地震记录,即说明人类对它是何等重视。为了防灾抗灾,人类一直在探求它的原因,寻求影响或决定它孕育发生的自然界因素。

地球自转现象长期以来被人类当成计时的一种工具。一百多年前(1876年)现代天文学的开创者之一Newcomb就预见到地球自转的不均匀性及其和地震的关系。从此人们便开始了这方面的探索。可把这段历史粗略地分成四个阶段:

1.萌芽阶段 十九与廿世纪之交,终于发现了极移,即自转轴相对地球本体是不固定的。这现象一发现便有人把它和地震联系起来,其中有J. Milne (1893) 和Lamor,但因实际资料不足,当时没有引起人们的重视。

2.发展阶段 到本世纪三十年代,人们进而发现了自转速率的不均匀性。这种不均匀性引起的能量变化比地震能量大得多,因此又引起了更多人的兴趣。仅仅十来年的时间,就取得了不少成功,提出了一些新的证据:

(1) E. Brown (1926) 提出地球自转速度的变化与地震的频度有关。

(2) G. Cecchini (1928) 认为1906—1908年极移幅度的明显增加与那时的强烈地震活动相关。1906年旧金山大地震引起1907年的极移摆动。但W. H. Munk等(1960)用定量分析否定了这种可能性。

(3) 河角广(1930)认为地极位置与发震地点之间在经度分布上存在确定的关系,即两者的经度相差 180° 左右。但计算结果并不明显。

(4) H. Landsbeg (1933, 1948) 认为自转轴周年摆动所造成的应变可能诱发地震,深震频度在二分点期间极大,而在二至期间极小。W. H. Munk等认为,这些资料不太充分。

这一时期仅仅限于两种事件的粗略统计或相关对比,因资料有限,在理论上又缺乏相应配合,收效并不显著。

3.初见成效阶段 四十年代到六十年代中期,研究有所深入,一些著名科学家与理论工作者参加了这个领域的探索,值得称道的结果有:

(1) V. Meinesz (1947) 的全球切应力模型和自转变化的研究,自转变变化可引起弹性应力的变向。

(2) M. Cтoвaс (1958) 认为破坏性大震大都发生在 35° 纬度带附近, 从理论上证明这恰是自转变化引起的应力集中带。高建国 (1980) 用世界各国最早地震时间、人口随纬度的分布和破坏性地震随纬度分布的一致性, 对Cтoвaс解释真实性提出疑问。

(3) Van de Dungen (1951) 利用乌克兰 (Uccele) 站35年的地震资料证明地震频度有季节起伏, 而且与自转速率周年项密切相关。

(4) M. Bath提出地震活动周(幕)的概念, 发现地震释放应变能曲线与极移振幅的40年周期相关。

(5) 自转变化日长变化和地震年频度相关 (Gutenberg, 1954); 把日长曲线的趋势部分扣除后残差与地震年频度对应较好 (R. H. Dicke, 1964)。自转变化是可供地震提供充裕的能量, 周年变化的能量为 1.24×10^{22} 焦耳, 其1%即与地震能量的年均值相当。

(6) W. Munk和G. McDonald (1960) 出版了《地球自转》一书, 从地球物理学的角度全面总结与论述了与自转有关的各种地学因素, 虽然没有论及与地震的关系, 但却为此问题的深入研究奠定了基础。

这一阶段的研究虽有深入的趋势, 但争异很大, 反对者仍占多数, 因为倡导的证据与理论还不充分和完善。

4. 深入阶段 六十年代末, 加拿大地球物理学者 L. Mansinha 和 D. Smylie (1967, 1968), 一连发表了几篇文章, 从弹性位错理论和实际地球极移与地震统计资料全面论证了40余年前Cecchini提出的地震激发Chandler运动的假说。他们统计的1957—1968年全球22次7.5级以上大地震中, 有15次大震和极移轨迹的突然转折在时间上是相关的。发生大地震时平均地极出现位移, 极移轨迹由一个圆弧换到另一个圆弧上, 因此产生轨迹上的间断。在天文学和地球物理学界, Mansinha等人的文章引起了强烈的反响。许多学者参加争论, 召开了两次国际讨论会。短短的十余年间论文数量猛增。

R. J. Myerson (1970) 给出了大地震激发功率解释Chandler摆动次数相关性的理论推导。D. Pines和J. Shaham (1973) 认为地震可能受到速率既不快(以日计)又不太慢(10^8 年)的弹性能变化的激发, 这一论点对极移运动与地震能的年释放量之间的关系提供了定量的解释。D. Anderson (1974) 认为, 在日长的长周期项, Chandler振幅与全球地震活动之间存在确定的关系, 部分原因可能是气候变迁与猛烈的火山活动。他(1974)又指出, 1835—1847、1896—1911、1933—1942年地震活动高于一般水平, 自转速率异常慢, 极移加快; 原因是近地表质量漂移, 板块运动是跳跃的, 加速期5—10年, 解耦地震发生在这段时间里。Hiroo Kanamori (金森博雄, 1977) 提出Chandler幅度与应变能降最小估计 W_0 相关性很好, 解释是颤动幅度的增加, 会触发地震并加速板块运动, 导致大的解耦地震, 可使中等地震相对减少。他的《地震物理》(1978)一书第三章专论极移与大地震。K. Lambeck (1978) 计算出1960年智利8.3级地震激发极移约为 $0.02''$ 。后来, 他(1980)又认为, 仅地震激发Chandler摆动的看

法不对,应是地震、非地震形变和气候共同作用形成Chandler摆动。Onodera Eiki (1981)求得地震时刻和地震强度与极移轨迹变化之间的相关性,得到强震可能激发Chandler摆动和长期极移的结论。

据不完全的统计,有关的论文至少在50篇以上。学术的争论大大促进了研究的深入,对一些关键问题,取得了统一的认识。当然,悬案还不少。

1974年W. Munk的《地球自转》重订出版,对此形势略有提及。1980年,以上提到的著名地球物理学家K. Lambeck撰写了《变化的地球自转》,着重总结了近15年来的研究进展,其中对地球自转与地震的关系专辟了两节进行阐述。

这一时期除了极移和地震讨论得有生有色外,自转速率和地震的研究也并未冷漠。J. F. Simpson (1968)指出,1959年7月15日太阳发生3⁺耀斑,7月21日日长突然增加0.85毫秒,当天全球5.5级地震数为10次,比平均值4.57次/日高一倍以上。J. Gribbjn在《木星效应》(1974)一书中认为行星直列可引起太阳活动,进而改变地球自转和发生地震。P. Melchior (1977)把地球自转不均匀性部分归因于气候和地震。C. Kakuta (1982)讨论地球自转速率变化与日本地壳运动之间的关系。Gribbin在《木星效应以外》(1983)一书中修正了木星效应假说,进一步阐述太阳活动-地球自转-地震相互作用的观点。E. Onodera (1984)讨论日本南部地区的振荡和自转速率变化之间的关系。

这一时期的研究特点是:

- 1.进一步揭示本质,将自转参数与更深刻物理意义的地震参数相联系,进行研究,如弹性应变能的积累与释放、地震矩、地震周期、自转周期、时纬残差等。
- 2.与地震发生机制,震源应力场以及构造活动密切结合。
- 3.采用近代的理论工具(如地球流变学模型、位错理论等),数学分析方法(谱分析、数字滤波、图象识别等)和实验手段(如模拟实验)。如F. Press和P. Briggs (1975)用图象识别法研究地震、Chandler摆动、自转速率和地磁活动之间的关系。A. I. Emets等(1978)用最大熵分析1900—1976年地球自转速率周期有2.8、3.7、7.0和10.5年周期。
- 4.资料空前充足丰富,而且精度质量大有提高,为深入研究提供了可靠的物质条件。
- 5.开展综合研究气候、火山、太阳活动、地震与自转的相互关系。
- 6.两种对立的意见能够充分磋商交锋。

这一时期乃是研究地震与自转关系较为繁荣的时期,虽然两种对立的意见还未完全一致,但毕竟打开了局面,预示着将会出现更加显著的进展。

国内这方面的研究历史较短,迄今不到二十年。最初是受李四光《地质力学概论》(1973)中地质力学思想的启发,李四光认为,大地构造力的来源主要是由于地球自转和地球自转角速度经常改变的结果,而自转角速度的改变与月球和太阳的活动有关,也与地球内部放射性元素的放热作用有关,其依据是:一些巨型的构造体系都有一定的方向

性：地球自转不均匀导致至地球上离心力的重新分布；大地震活动的纬度迁移与地球自转轴的改变有关。国外的争论对国内学术界也有影响。天文学界首先着手这方面的探索，通过调研和实践，取得了一些成果，改变了天文学界原来认为天地关系不大的看法，也赢得了地学界的支持。据不完全的收集，地震自转和地球关系的论文国内共100篇（部），其中北京天文台、北京师范大学天文系、上海天文台、国家地震局分析预报中心、地震地质大队、地震研究所、地球物理所、地质研究所、兰州地震所、四川省地震局、云南省地震局、北京大学、海洋局情报所、中国科学院物理研究所等单位都有人参加过这方面研究，取得了一定进展。为说明这一情况，今将诸年发表的文章数目绘制成图。

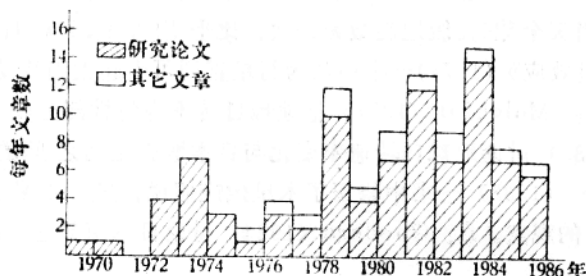


图1 本文引用的国内关于地球自转和地球的关系论文逐年篇（部）数

从图上来看，可以看出有三个发展阶段：1969—1972年，1973—1976年和1977—至今。

1. 探索阶段 Mansinha等文章发表不久，邢台、河间、渤海地震相继发生，促使人们从多方面探讨地震预报的途径。内容有：

(1) 自转年变和地震。中央气象局科研所（1969）认为古代地震频次明显有两个峰（春、秋分附近）和两个谷（夏至、冬至），可能与地球自转春慢秋快有关。上海天文台（1972）指出华北、西南地震区单一构造体系控制的大地震发生与地球自转季节性变化明显相关。北京天文台、北师大天文系223组（1972）提出我国有些地区在地球自转速度下降段发生 $M \geq 5$ 级地震，有些地区在上升段发震，有些在接近峰谷段发震，表明不同地震带与地球自转速率变化所处的不同位相有关。223组（1972）还认为，地球自转长期变化对各种不同地震影响，也和地质构造相关。

(2) 极移与地震。223组（1970）推导出极移对地面质点产生的附加力场表达式，并讨论了全球分布力场。不同地质构造或构造力场条件，瞬时极经度与惯性极经度之差——地震频度分布有优势方向。

2. 巩固阶段 1972年临汾会议以后，逐步明确了地震预报主攻方向，出了一批质量较高的文章。但天文学界参加的多，地学界只是有一些同志注意，以后又出现了数量下降的趋势。

(1) 极移与地震关系的深入讨论。地质力学所、兰州地震大队（1973）认为，极

移力方向与构造带走向相同或垂直不能反映极移应力对构造带作用的性质和强弱,应当用极移应力的主压应力方向与震源机制求出的主压应力方向比较,似乎不能断言 45° 纬度区讨论水平应力没有意义,东北深震是垂直力起主要作用。张焕志(1973)以极移、自转速度、其它激发源与地震为题展开讨论。他(1975)认为,地震对Chandler摆动的激发水平仅为实际水平的19%,对地球自转速率的影响为 10^{-5} 秒,比潮汐还小一个量级。相反,统计结果和理论计算支持自转、极移影响地震的发生。傅承义(1976)认为,极移和大地震虽然表面相关,但未必有直接的因果关系,应当寻找一个既可激发极移,又可产生地震的机制。

(2) 注意在不同情况下的自转速率和地震之间的对比。李启斌等(1973)发现我国几个主要大型构造体系上发震的自转加速度符号是山字型+,东西带+,南北带+,歹字型+,新华夏系-。天津纬度站(1973)认为,地球自转形变力作用下70~700公里深处弹性应变能相对平衡态的波动,与全球中、深震释放能较为一致,推测地球自转不均匀性可能是中深震发生的原因。薛峰(1974)根据自转和地震的关系,提出北西西、南北向断裂带应是注意的重点。冀志英等(1974)分析得到四川西昌-冕宁地震1970年以前8次六级以上地震全在自转加速时段;云南剑川地区5次地震全在自转减速时段;大理地区9次地震仅2次在自转减速时段,其余多在加速时段。唐文昌等(1976)认为地球自转使一定地区具有优势应力场,使构造活动不仅具备继承性,并有新生和加强的特点。兰州地震大队等(1976)指出1920年海原8.5级地震和1897年印度阿萨姆8.5级地震分别在自转最低值到正常值和正常值到最低值时发生的,而两个震中分别位于青藏高原巨大隆起区的两侧。

(3) 引进海洋学预报方法。海洋局情报所等(1973)先求出太阳、月亮、行星及其它影响地震要素的系数,再用类似海洋潮汐预报方法,1970年来对天山、甘宁、华北、燕山、云南通海、下关等地作31次预报,25次报准和基本报准。肖兴华等(1973)应用多条件综合概念预报方法研究地球自转、太阳活动对地震的综合影响。

(4) 用到了模拟实验。钟嘉猷(1974)从模拟实验分析中国的受力状态,得到自转变慢以北西或北西西断裂活动为主,顺序由东向西、由南向北;自转加快以北东或北东东断裂为主,顺序刚好相反。

3. 发展阶段 主要受到海城、唐山大地震的刺激,文章篇数剧增,至今仍有不衰的趋势,特别是天文学界和地学界更密切的结合,使得许多方面都得到较快的发展。关心这个问题的人兴趣至今尚浓,是一个好的兆头,应当继续保持下去。

(1) 关心唐山地震时的自转速度。唐山地震工作队(1976)认为,地球自转正处于长趋势开始变快且正处于地震活动高潮期,应留心北纬 35° — 40° 附近地震发生。

(2) 出现了新课题——天文经纬度异常和地震前兆。张国栋等(1976)首先发现唐山地震前北京等高仪出现异常,做了大量调研工作。罗时芳等(1977)发现1966年3月22日邢台7.2级地震前2个月,北京等高仪也有明显的异常。并认为孕震区地下物质在压应力作用而堆积,造成震源区附近铅垂线的变化,使测时出现短期系统性的偏离。

李致森等(1978)处理了1966年以来北京、天津、东京、水泽及贝尔格莱德等台站资料,发现大地震前三、五个月内测时残差出现一对符号相反的异常,测纬残差是一个孤立的单峰。张国栋(1978)理论分析震前时纬残差异常是地下水活动引起的垂线变化造成的。罗时芳等(1980)指出,1979年7月9日漂阳6.0级地震前紫金山天文台测时出现异常。张国栋(1981)分析唐山地震前北京测纬残差的成因。李致森等(1983)又给出震前时纬残差新的补充证据。张国栋(1984)认为不能总是等待我国时纬台站附近发生强震,最好是有目的地在多地震区建立时纬观测站。韩延本等(1985)指出1984年下半年昆明测纬残差出现持续较久的波动,与1985年4月18日禄劝6.1级地震有关。张国栋、李致森(1985)向国际天文联合会第19委员会提交建立“国际时纬异常作为地震前兆的资料分析中心”的建议,成为该委员会后来批准成立的经典时纬仪器工作组的一项重要内容。

(3) 极移与地震关系讨论的多方面内容。南开大学数学系统计预报组(1978)认为,1969年12月29日极移变化超过限度,与1970年1月5日云南发生7.7级地震有关。安欧(1978)认为极移平均位置轨道圈闭一个回路或圈而不闭时,次年全球7.2级以上地震频度达最大值。赵铭等(1980)认为随机激发能在Chandler摆动中起作用;没有发现摆动轨迹的断裂同大地震有显著的相关;每年摆动率的变化和大地震次数是强相关的,但并不证明地震激发摆动;在Chandler摆动功率中,地震激发的量是很微小的。高建国等(1982)用最大熵证实全球地震能量存在周年项和Chandler项;对测时残差48天和111天两个周期项作地震及前兆解释。高建国(1985)指出,十九、二十世纪极移速度叠加图明显超前于地震,极移位相叠加蝶形图也支持这一事实,与Mansinha的假说恰好相反,不是地震激动极移,而是极移激动地震。地极移动6.7年周期与全球八级大震关系密切。

(4) 应力积累和地球自转变化。王仁(1978)认为,纬向惯性力引起的应力每年仅0.1巴,不能积累,不足以推动构造运动;按快速模型,大陆和海洋正应力为0.24和0.29巴/年。他和丁中一(1978)提出,若相对速率变化维持 10^6-10^7 年不变,则惯性离心力引起的应力可以积累到足以推动某些构造运动的数量;鉴于地球构造的非对称性,还需探讨非对称地球模型和动力来源。张焕志(1978)指出,0—70公里和70—700公里深部动能起伏为 10^{27-29} 尔格,比每年的地震能量大 10^3-4 倍,是十分令人注意的事实。海洋局情报所(1978)认为差异运动和不均匀性产生的力使地壳产生裂隙或深断裂,为地幔物质的上升提供条件,又反过来促进地幔物质运动,为地震孕育、发生和发展提供了根据。郭增建、秦保燕的专著《震源物理》(1979)指出角速度变化在地壳内单位面积上产生的应力仅 10^4 达因/cm²,只能作为触发地震的能量。陆国华(1979)提出惯性力比天体起潮力小三至五个量级;自转角动量不可能长期守恒,只会逐渐减小;地震活动性不存在季节性周期变化。陈涤生(1979)指出地震活动周期性不能完全用自转变、潮汐和板块运动解释,前两种现象不能说明地震孕育期的能量积累,后一种现象不能解释周期性。马宗晋等(1980)认为,北半球大陆区存在一个纬向地震系统,必须考虑地球自转变速和极移引起的动力作用对发震的影响。高旭等(1980)提出,自转持续

加快或减慢可变化 $200-400 \times 10^{-10}$, 应力积累可达 $40-120$ 达因/ cm^2 , 能触发原来已处于临界平衡状态的构造运动的作用。贾晋康、王仁(1981)又指出自转变化对平移断层错动发震有触发作用, 除了取决于发震区的初始应力状态是否达到临界状态外, 还与地震所处的纬度、发震断层走向及错动方式有关。高建国(1981)认为地震频度的年变随震级越大, 越不明显; 地震纬度分布表明, 越低纬度地震多, 反之亦然。范家参等(1981)以匀速自转变形作有限弹性变形计算, 再叠加角速度变化而产生弹性变形。李明光(1981)认为, 全球和中国强震纬度越高, 季节性越明显。刘忠书、李愿军(1983)提出我国强震地表破裂主应力方向与自转关系密切, 自转加快或近乎匀速时, 主压应力方向多半为近南北方向, 而自转减慢时主压应力多半近东西向。他们(1983)又指出, 水库强震可能与自转速度产生的应力场有关。李愿军(1984)提出, 全球八级大震应变能与自转的相差显著。

(5) 地震周期与自转速率变化。朱岳清等(1981)认为亚欧大陆地震频度存在10—11年、21—25年周期, 能量有9年、21.3年、32年周期, 与自转速率周期一致。高建国等(1982)提出1897—1980年全球八级地震存在15个20天到77.2年的周期, 与自转、极移12个周期重合; 自转变慢、加速度为零附近不易发生大震。刘忠书、李愿军(1982)指出中国大震能量主要在自转速度变化的中段释放, 推测八十年代末至九十年代初西部特别是西北部可能发生大震。沈宗丕(1983)认为, 1850年以来四川6.7级以上地震主要存在22年、12年和15年左右周期、与自转速率周期有关。朱岳清等(1983)分析了地震活动周期特征及其可能的物理机制。周传荣(1985)提出环太平洋带、汤加-欧亚带及南美带地震有14.4月周期, 环太平洋高纬度区有15.38月, 南美13.02月, 中纬度的汤加-欧亚地震周期14.9月, 可能与Chandler周期有关。

(6) 地震活动图象和自转速率。傅征祥(1981)认为欧亚大陆和东太平洋浅震与自转的空间对应关系具有以经、纬线为界的分块相关特征, 西太平洋岛弧-海沟区中, 在深海沟及向洋一侧浅震主要在自转加速发震, 向陆一侧及岛弧区多在减慢时发生。高建国(1982)提出准六十年全球八级地震活动幕, 在自转加速和减速时, 全球八级地震分布呈现不同的分布特征。薛峰(1982)用东西区域构造应力场的差异和变化离心应力场解释地震对称活动。唐荣昌等(1983)认为, 从整个川西断裂活动及地震活动呈现出网络特点来看, 不能忽视自转变化对鲜水河区地震发生所起的作用。傅征祥(1984)提出海沟及其附近的重力负异常区内, 和岛弧及其附近的重力正异常区地震分别发生在自转加速或减慢年分。

(7) 图象识别和地球自转速率。王碧泉等(1981)用图象识别方法研究提出, 太阳黑子极值年附近和自转速率急剧变化的年份附近是大地震经常发生的时段。马秀芳(1982)指出, 华北7级以上地震多发生在自转加速度变化超过 20×10^{-10} 年附近, 华东6级以上和西藏7级以上地震分别发生在自转变慢和变快的年分。

1980年, 徐道一等《天体运行与地震预报》是国内第一本研究地震的发生与天体运动之间关系的著作。1983年, 徐道一等《天文地质学概论》中第六章第三节“地球自转速度变化与地球形变”, 第四段“地球自转速度变化与地震”也讨论了这个问题。叶叔

华在1978、1980、1981年几次系统总结了天文地球动力学中极移方面、自转速率方面、垂线变化方面与地震的关系,认为天文地球动力学是天文学与地学(特别是其中的大地测量、地球物理、地球化学、地质、地震和气象等学科)相互交叉、相互渗透的一门新的分支学科。

回顾这一段历史,并对比国外情况便可以看到我们工作的长处和不足,有值得总结的经验,也有吸取教训的地方:①密切与预报相结合;②强调结合区域构造,不同构造体系的联系;③不同学科密切配合一起攻关,只是后期坚持不够,天文学界配合不力;④地学界从理论上探索缺乏力量,打外围战。

关于地球自转和地震的研究,我们是有一定的力量的,和国外差距不大,赶上去还是有可能的。对未来的动向和展望是:

(1)七十年代围绕Mansinha激发假说展开的争论,大大促进了这一研究领域的深入,收获很大。但高潮之后,或许要冷静一段,准备提出新的问题或酝酿新的突破。

(2)这一关系的研究有力地带动了地学理论的发展。为了更深入地解决问题,必须建立新的理论和完善或修订原有理论,比如流变学地球模型,板块构造理论,地震位移场理论,弹性位错理论等。

(3)前一段的研究偏重于极移与地震的关系,这应归功于Mansinha等人的挑战。值得称赞的是,Mansinha等人不仅提出了问题,而且不断进取,广泛吸取各方面意见,从理论和实践两个方面一齐入手,他们选定的突破口带动了全局,从而使这个领域的研究改变了被动孤立的局面。关于自转速率与地震关系的研究也需要这样的突破口,需要有像Mansinha等人这样发展全面的科学家参加这一工作。

(4)发挥我国自己的特点与优势:①长序列,②构造带结合,③模拟实验,④时纬残差的深入研究与探索,经典时纬方法的应用与地球物理学测深手段。

(5)加强理论方面的研究:①自转变化规律,①地球模型,③与震源物理结合,④天文学与地球物理学相结合。

以上几点仅仅是我们个人的点滴认识和体会,对情况了解得不够全面,难免有失实不确之处,请批评指正。我们希望,我国科学工作者应该注意此领域的进展与动态,适当安排自己的力量参加这一方面的探索。

致谢:作者在搜集文献时,曾经得到徐道一、傅征祥、薛峰、刘忠书、李恩军等同志的支持,特此感谢。

环境因子与地震预报

郭增建 秦保燕 孙光宇

(国家地震局兰州地震研究所)

环境因子可分两类。一类是距人类生活范围近的环境因子，如人为污染和当地地球化学元素的分布等，它们对人类的健康有影响。另外还有距人类生活范围较远的环境因子，如日、月和大气等，它们的运动、活动和力学作用也对人类有直接和间接的影响。我们可把第一种环境因子称为小环境因子或近环境因子，而把后一种环境因子称为大环境因子或远环境因子。本文仅讨论大环境因子与地震的关系，并联系与人民生命财产安全的关系。为行文方便，我们在后面的文字中皆把环境因子简称为外因。外因与地震的关系是多方面的，它与前兆，发震和震灾都有关系。下面分别进行讨论。

一、外因对地震的触发

这是很早人们就研究的课题，其基本思路是：临近大震发生前震源地方的应力已快接近岩石的耐剪强度了，如果此时有外因作用，则或是给震源地方增加了一点力或是对震源断层面岩石强度有削弱，则可触发地震。其具体作法是首先用实际资料建立某地区外因与已发生地震之间的相关性，然后应用于未来的地震预报。在实际发布预报时，把外因与前兆当作是互不相关的平行因素来考虑。

在外因触发地震的问题上，虽然太阳黑子和月相与地震的关系首先为国外学者阿·波伊(A·Poivy)和培莱(Perry)于1874年和1853年分别指出，但是大气因子与地震的关系却是中国人发现的。例如1739年银川小志上曾记到多种前兆，并指出：“至若秋多雨水冬时未有不震者。”又如1815年山西平隆安邑发生6.7级大震，在大震前一月，阴雨连绵，但临近大震前突然天晴且较热，据震中附近的虞乡县志上记载：“乡老有识者，谓淫雨后天大热，宜防地震。”

在太阳活动、月相、气象变化与地震关系的问题上，近年来国内外学者已作了许多有价值的工作。但多偏重于定点统计和定区统计，而未研究不同区地震发生之间的关系。在这里我们将讨论外因与震中迁移之间的关系。1971年我们在讨论震中迁移的时间问题时曾指出可由外因来估计震中迁移的时间(地震烈度资料汇编，《地震战线》编辑组编，1971)，即当某地发生了大地震后，在其迁移带上可能相继发生较大地震。由于这个迁移带上发震的力系和介质条件是比较类似的，所以某种外因如果触发了该带中

的第一个大地震，则该外因再出现时还可能触发该带相继发生的其他大地震，形成具有外因时间特征的震中迁移现象。1920年海原大地震 ($M=8.5$) 发生后，沿同一构造线于1927年震中迁至西北方向的古浪地区 ($M=8$)。有趣的是这两个大震分别发生于地磁活动高年，如图1和图2所示。在图2中，虽然黑子活动高年有所超前，但由太阳所引起的地磁活动和地电流活动与地震的对应关系甚好。

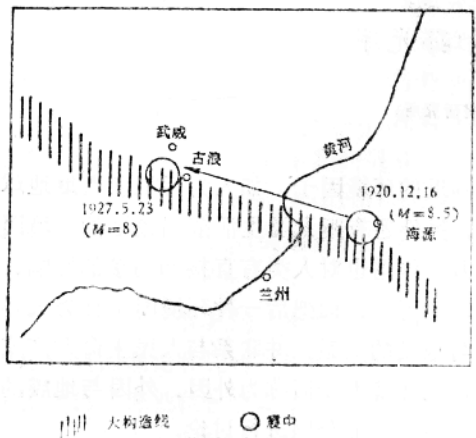


图1 1920年海原大震向古浪大震的迁移

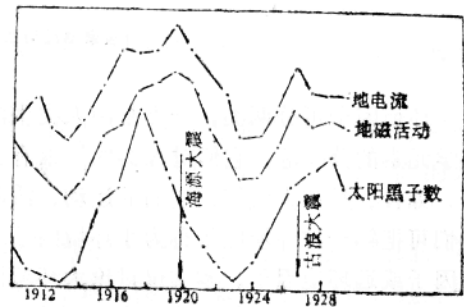


图2 太阳活动与海原、古浪大震

除了太阳活动高年震中迁移的现象外，还有太阳活动低年震中迁移的现象。例如，1932年为太阳活动低年，在甘肃昌马发生了7.5级地震，过了22年，即1954年，又逢太阳活动低年，震中迁至山丹，发生了7.4级地震，如图3和图4所示。虽然图3中1932年昌马大震和1954年山丹大震不在同一条具体的断裂带上，但却分别沿着走廊的两侧，符合于同一大构造体系。

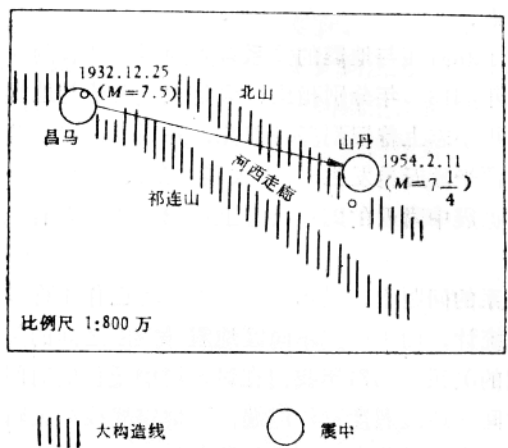


图3 昌马到山丹的震中迁移

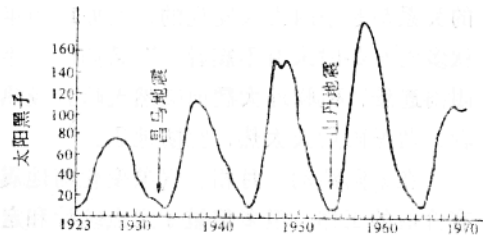


图4 昌马和山丹大震发生的时间与太阳活动的关系

关于太阳活动高年易于发震的机制，有日本学者高山威雄提出的太阳-气压-地震说（1930），有苏联学者森廷斯基提出的太阳-地球自转-地震说（1963），还有美国辛普森提出的太阳-地电流-地震说（1968）。但这大震为什么在太阳活动低年亦多的问题，都未提出合理解释。1970年我们曾提出过一种统一的解释*。这个解释在1975年被黄禄基作了引述^[1]，但最后，他表示不能同意这一解释。下面我们论述一下我们的看法，以及黄禄基的异议。

根据地热学的研究，由地面向下每深一公里温度约增加30度，这样在地下约20公里的地方温度就会增加到600度。根据岩石磁学的研究^[2]，组成地壳的岩石，其居里点约为600度。因之，在地壳内20公里的深度上大约就是居里点等温面所在的深度。另外在一些大断裂穿割地壳的地带（这里易于孕育大震），居里点等温面还要浅一些，如图5中的实线弯曲部分所示。如前所述，在地磁活动高潮时期，地球内部的电流大大增加，由于地磁活动高潮时间会持续一两年，所以这种地电流频繁的加剧，就使地球内部温度有所升高，这就引起了居里点等温面的抬高，如图5中的虚线所示。这种居里点等温面的抬高会影响大震震源的不稳定性，从而影响大震的发生。在太阳活动低潮时，地电流大

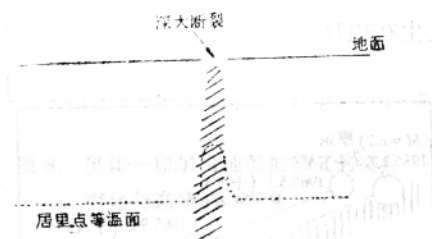


图5 大断裂与居里点等温面

大减弱，再加热传导的原因，被抬高的居里点等温面就要降低，根据岩石磁学的研究，地壳岩石带有铁磁体的性质，所以我们可以认为，当高于居里点等温面的岩石冷却至居里点之下时就要产生体积或线度的异常变化（其中包括自发磁致伸缩和纯热学的伸缩）。这个异常变化是相应有应力作用于震源底部的，并对地震有触发作用，使此时期地震发生的比较多。由于不同地区地壳岩石的铁磁性能不同，所以上述的磁致伸缩效应大小也不同，因之对地震的影响也不同。在以上讨论中所说的居里点等温面并不是一个几何学上的面，而是一个具有一定厚度的温度层。由于不同地区地下热源分布和地壳结构完整性的不同，所以居里点等温面的深度也不同。如果震源体积中包含有这个层，那么它就易于被上述的自发磁致伸缩所触发。由于地震越大时震源体积越大，所以它包含居里点等温面的可能性也越大，因之对于地壳中的震源来说，地震越大，它就往往与太阳活动盛衰的相关性较明显。

按照上述的讨论，则震源深度大于100公里的深源地震，由于其震源体积不可能达及地壳中的居里点等温面附近，所以上述的自发磁致伸缩效应就不适用。事实上，我们曾统计了1903—1964年期间世界上深度大于100公里的地震（震级大于7级），发现它们与太阳活动的相关性不明显，另外，我们还统计了我国东北的深源地震，发现它们似与太阳活动的高潮有些相关，但与太阳活动低潮不相关。

* 太阳黑子活动与大震关系的讨论，油印本，1970年

以上就是我们在1970年对太阳活动与地震关系的统一解释。1975年黄禄基的观点认为居里点等温面降低后，温度引起的体积变化与自发磁致伸缩引起的体积变化正好抵消，所以对地震不起影响。据此他对我们的解释不同意。但我们要指出的是，在一般情况铁磁体的自发磁致伸缩和温度引起的伸缩是不抵消的，只有特殊合金—殷钢才是这样的。所以黄禄基的异议我们还不能接受。他本人也未对太阳活动低年地震更多的现象提出解释。

除了上述太阳活动触发地震的关系外。我们在1971年还曾注意到固体潮与震中迁移的关系（地震烈度资料汇编），如在康乐至武山、天水一带的震中迁移带上，凡第一次在康乐附近发生的破坏性地震是在朔望时，则后来迁移到武山、天水一带的破坏性地震也都发生在朔望期，这种情况在历史上重复出现过。如图6所示。在图6中，1765年的两次地震相隔4个多月，皆发生在望日前后，1936年的两次地震相隔近半年，皆准确地发生在望日。

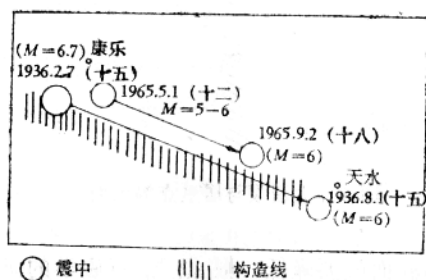


图6 康乐至天水震中迁移带上地震与朔望的关系

关于外因引起震中迁移的原因，我们认为还有以下的可能。按照我们过去的假设（地震战线，1971年，第8期），当一处地壳中发生大震后，由于这是个剧烈变动，所以可能影响其下方上地幔中物质会有一调整运动。这个运动沿一定方向向一定距离上传递时，可触发该方向上地壳中快要发生的地震，形成震中迁移。地震迁移带下方的上地幔物质可能较其它地方更易运动些。以上观点类似于1977年肖尔茨提出的形变峰^[3]。1979年我们曾指出^[4]，外因对地震的触发可分为直接触发和间接触发。

直接接触就是外因直接作用到震源地区而触发地震，间接触就是外因触发上地幔软流层中的运动，后者再影响地壳中地震的发生。这就是说一处大震被外因直接触发后，这个地震的剧烈运动可影响上地幔物质的调整运动，而且外因也可影响上地幔运动，两者叠加在一起就可使上地幔运动加剧，从而影响该运动路过地区上方地壳中快要成熟的地震而形成震中迁移。

二、环境因子对震前过程的调制

在大地震发生前一定时期内，震源地方和其附近的过程已经很不稳定了，因之外因可以影响这个时段内震源区及其附近地区的动态（即调制或激励）。这个被调制了的过程所引起的前兆就带有外因的时间特点。反过来，如果发现外因与前兆同步了，我们就可以认为震源地方已不稳定了，因之要警惕大震的发生。此时可用外因和前兆出现的韵律性来预报未来大震的发生日期。至于地震发生的地区，一般来说，应距前兆观测点不很远，或与其在一条构造带上。这个预报思路我们在1977年讨论倍九法时曾提出过。同

年吕大炯和高建国在讨论二倍法时也提出过。1980年我们对外因调制地震前兆作了系统的讨论^[6]。在那篇文章中我们已大量列举了国内的例子。下面仅列举世界上其它国家的一些典型例子。

1. 日本 1978年1月14日日本伊豆大岛地震 ($M = 7$) 前5天, 在距震中几十公里的中伊豆地方曾观测到水氡的突跳^[6]。这一天恰好为朔日, 其前兆的突变与这天引潮力较大有关, 如图7所示。

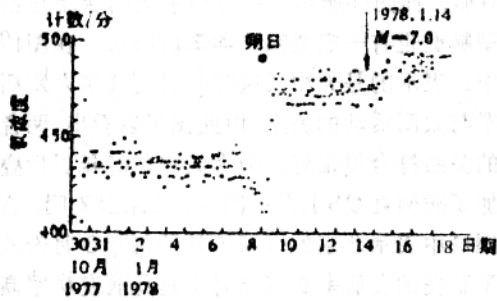


图7 伊豆大岛地震前氡气的突然变化与朔望相关性



图8 奥比-加尔姆地震前氡气的突然变化与朔望的相关性

2. 苏联 在苏联文献上发表的连续记录的氡气前兆似乎以1973年苏联加尔姆地区的一次地震最为典型^[7]。如图8所示。有趣的是氡气突跳的时间正好是朔日。这就是说这一突跳前兆可能受到固体潮的调制。

3. 美国 美国发表的前兆资料甚少, 但有些美国学者宣布1974年的感恩节5.2级地震, 是他们预报了的一次地震^[8]。其根据之一是震前28天, 即10月31日到11月1日两个台站上地磁变化幅度之差有明显异常, 越出了观测误差, 如图9所示。我们发现这两个地磁台的差值突然异常的那一天恰好为十七, 即近于望日, 说明磁异常可能是由固体潮调制引起的。

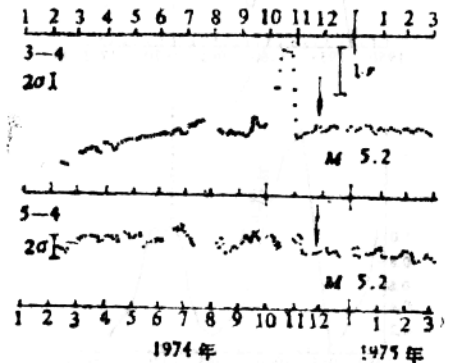


图9 1974年11月28日美国霍利斯特地震前地震变化与朔望

根据以上事例以及我们以前介绍过的事例, 我们认为外因对前兆的调制或激励是一个重要问题, 今后在预报中应当充分重视。

三、外因对震灾的影响——灾害预测中的外因作用

全面的地震预报应当包含震害的防测。在这方面外因也是应当考虑的因素。

1. 气象因子 如所周知, 气象因子可以调制前兆和触发地震, 同时也可以加重地震

灾害。例如大雨时地下水位上升可提高房屋倒塌的可能性，水库蓄水高时增加坝的不稳定性，雨水多时增加滑坡的可能性等。还应指出，如果大震发生于暴风雪的冬天，则灾民的灾情也会加剧。从医疗角度讲，太阳活动和天气变化既可影响地震发生，又可引起重要的疾病或加剧原有病人的病情，以加剧震灾。根据文献〔9〕的研究，太阳活动高年高血压病人似有增多，麻疹和克山病人似有增多（当然这些疾病不是单一因素决定的）。另外根据文献〔10〕的研究，气候剧烈变化时，急性心肌梗塞病易于发作。在这里我们还要指出，在太阳活动高年，急性心肌梗塞病人也增加，如图10所示。另外似乎太阳活动与乙

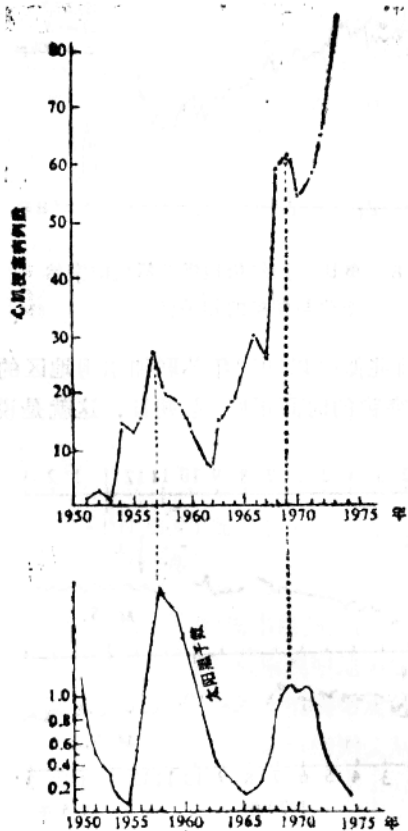


图10 心肌梗塞与太阳黑子活动高年

型脑炎也有一定关系，如图11所示。在图10中，表示的是天津某医院心肌梗塞病人发病率与太阳活动的关系。由此图可以看出，两者的关系符合得很好。但大约在1962年以后叠加了病例直线S上升的因素，其原因不明。在图11中表示北京地区所统计的每年3月份乙型脑炎的发病率数（三月份是此病发病率高峰时段），它与磁暴活动似成反相关，其原因尚待进一步研究。当然也有一种可能就是太阳活动不同时期紫外线的强弱变化影响细

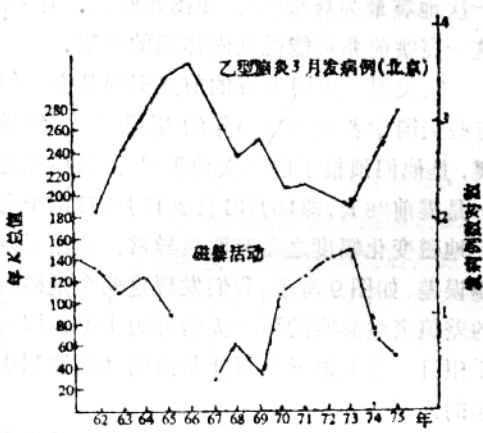


图11 乙型脑炎与磁暴活动的反相关

菌的盛衰，因之与疾病有关。近年来有人发现月相还与某些病情有关，因之当固体潮触发地震时还会伴有月相引起的病情加剧，从而造成震灾的加重。

四、结 论

根据本文的讨论，我们认为大环境因子不仅与地震预报有关，而且与震害程度也有关。因之大环境因子、地震前兆、地震的发生以及地震灾害等实际上是一个“链”。