

# 云南地震预报 系统论

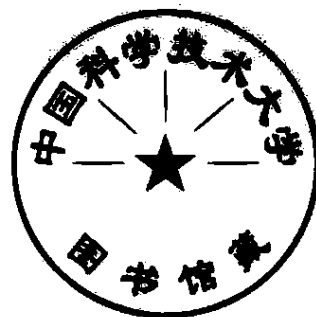
赵洪声 刘祖荫 编著



地震出版社

# 云南地震预报系统论

SY07/55 SY07/01  
赵洪声 刘祖荫 编著



地震出版社

1993

(京) 新登字 095 号

### 内 容 提 要

本书从系统论的角度出发,将地震系统与外部环境看作相互联系,相互作用的整体,通过长序列大样本分析,阐述了云南地震系统的地震演化特征,着重论述了云南地区天文背景、大气涨落、旱涝剧变、地热异常等与地震活动的关系,初步揭示出一些可能制约地震孕育和爆发的基本物理关系,以及它们的致震规律。并在此基础上,建立起有一定物理基础的地震预报模式,将其应用于实践,取得了较好的效果。

本书立意新颖,涉及内容广泛,除地震部门外,还可供天文、气象、应用数学、力学等方面科技人员参考。

### 云南地震预报系统论

赵洪声 刘祖荫 编著

责任编辑:张崇山

责任校对:李 珩

---

### 地震出版社出版

北京民族学院南路9号

中国地质大学轻印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

---

850×1168 1/32 11.25印张 302千字  
1993年12月第一版 1993年12月第一次印刷  
印数 001—800

ISBN 7-5028-0965-1/P·595

(1358) 定价: 9.80元

## 前 言

云南地震亘古不断。

然而窥天易、窥地难。以减灾为明确目的的云南现代地震预报研究，可以说，直到1970年1月5日通海7.7级大地震动地撼天而来——全滇震动之后，才在社会和民众的强烈呼吁下正式开展起来。

20余年艰难探索，真似弹指一挥间。

这期间，经过大震洗礼的我们，既有过对地震成因的热烈争辩和对传统理论的认真思考，也亲身参与了对数十次破坏性地震的预报实践，同时，在借鉴国内外有关最新进展的基础上，从内因到外因、从供能到储能、从构造到震源、从场兆到源兆，做过较广泛的研究，逐步揭示出一些可能制约地震孕育和爆发的基本物理关系、以及综合控震规律，从而得以在今天，充分证明了地震系统与环境乃是一个统一的整体。因之，本书名曰“云南地震预报系统论”。

本书的主要特点是：理论与实践结合，基础与应用并重，突出动力作用并强调长序列大样本分析，集中阐述云南地震系统（中国的一个典型多震区）的地震演化特征和内外因素的致震规律，以切实推动地震预报工作的进步。

当然，由于作者水平有限，再加之地震成因和地震预报的复杂性，因此，虽有系统论述的本意，仍难免有些问题（如某些变化不清的前兆）暂时还无法论及。

本书第一章及第五章至十一章由赵洪声执笔，第二至四章由刘祖荫执笔，全书由赵洪声统一修订完成。

毋庸讳言，要写好这样一本探索性极强的地震预报专著是不

易的，作者衷心感谢多年来不断给予我们支持和帮助的同志们（特别是中国科学院学部委员、国家地震局地质研究所所长马宗晋教授、云南省科委主任张敖罗研究员、省应用基研研究基金委员会办公室负责人解德汝、黄文昆以及省地震局的有关领导等），同时热忱欢迎广大读者对本书批评指正。

作 者

1992.6.6 昆明

# 目 录

|                             |      |
|-----------------------------|------|
| 第一章 绪论 .....                | (1)  |
| 第一节 现代系统说 .....             | (1)  |
| 第二节 自然整体观 .....             | (3)  |
| 第三节 地震层次论 .....             | (8)  |
| 第四节 预报思路谈 .....             | (11) |
| 第二章 云南多震的构造背景 .....         | (14) |
| 第一节 大区域地壳演化历史 .....         | (14) |
| 第二节 现今地壳结构 .....            | (20) |
| 第三节 主要活动断裂 .....            | (22) |
| 第四节 云南地区地壳的基本应力场 .....      | (29) |
| 第三章 云南地震活动的基本规律 .....       | (32) |
| 第一节 空间分布特征 .....            | (32) |
| 第二节 时间分布特征 .....            | (39) |
| 第三节 与邻近地区强震的关联特征 .....      | (45) |
| 第四章 云南强震孕育—发生—衰减的动态过程 ..... | (51) |
| 第一节 强震孕育的共性表现 .....         | (51) |
| 第二节 地震动态的有序性变化 .....        | (55) |
| 第三节 强震的余震衰减特征 .....         | (63) |
| 第五章 云南地震起伏的天文环境 .....       | (71) |
| 第一节 太阳活动的影响 .....           | (72) |
| 第二节 天体引力的作用 .....           | (81) |
| 第六章 大气活动与云南地震的基本关系 .....    | (90) |
| 第一节 大气扰动的能量问题 .....         | (90) |
| 第二节 气-地联系的普遍性 .....         | (93) |

|      |                               |       |
|------|-------------------------------|-------|
| 第三节  | 大震前数年气压场状态 .....              | (101) |
| 第四节  | 大气环流突变效应 .....                | (112) |
| 第五节  | 各区 $M_s > 5$ 级地震的临震分析 .....   | (124) |
| 第七章  | 旱涝变化与云南地震的基本关系 .....          | (131) |
| 第一节  | 气候尺度降水变化效应 .....              | (132) |
| 第二节  | 旱涝调制地震假说 .....                | (140) |
| 第三节  | 云南降水量空间结构 .....               | (154) |
| 第四节  | 旱涝-强震统计预报 .....               | (163) |
| 第五节  | 震前一年旱涝分析 .....                | (172) |
| 第六节  | 局域旱涝-地震关系研究 .....             | (182) |
| 第八章  | 强震前近地层气温异常 .....              | (196) |
| 第一节  | 大尺度冷暖变化 .....                 | (196) |
| 第二节  | 短临增温现象 .....                  | (203) |
| 第九章  | 地震信息的广泛探索 .....               | (211) |
| 第一节  | 通海地震前后的地下径流演变过程 .....         | (212) |
| 第二节  | 地下水微动态观测分析 .....              | (221) |
| 第三节  | 电阻率的主要异常特征 .....              | (229) |
| 第四节  | 地磁场的可能震兆信息 .....              | (235) |
| 第五节  | 测纬残差异常和电离层的反应 .....           | (244) |
| 第六节  | 震例归纳与信息合成 .....               | (248) |
| 第十章  | 云南地震分析预报模型 .....              | (259) |
| 第一节  | 地震预报物理基础 .....                | (259) |
| 第二节  | 云南 $M_s > 7$ 级大震的动力统计研究 ..... | (265) |
| 第三节  | 地震动态系统预报的时变参数模型 .....         | (283) |
| 第四节  | 本模式的普遍意义及工作程序 .....           | (298) |
| 第十一章 | 实践的检验 .....                   | (302) |
| 第一节  | 禄劝 6.3 级强震 .....              | (302) |
| 第二节  | 澜沧-耿马 7.6 级大震 .....           | (317) |
| 参考文献 | .....                         | (342) |

# 第一章 绪 论

地震预报科学正面临着深刻的变化。这主要是因为：近 20 余年来，在地震理论研究上遇到了震源介质与其周围地体、甚至外部环境相互作用的非线性系统，在地震预报实践中遇到了地震“前兆”多样性和缺乏重复性的复杂现象；如果再考虑到对确定性和随机性、内因和外因、有序和无序、整体和局部、缓变和突变等范畴和概念的重新认识，那么，地震预报界日益重视从现代系统科学和非线性科学汲取营养也就是很自然的事了。

目前，愈来愈多的科学工作者开始尝试在更广阔的时空来描绘地震过程的全貌。以开放的而不是孤立的、整场的而不是单点的、动态的而不是静态的观点去揭示制约地震演化的基本关系，力图将地震预报科学从震例总结推向共性研究，从震源分析推向动力探讨。这一切努力，虽距最终解决地震预报难题还很遥远，但毕竟展示出了预报地震的一种可能性，显示出人类认识客观事物的螺旋式上升规律。

## 第一节 现代系统说

“系统”的概念存在已久。

早在古代，尽管生产技术很不发达，人们无法弄清自然界各种事物的细节，但不少先进的思想家，已开始从统一的物质本源出发，把自然界当作一个统一体去进行观察，并用朴素的整体观观察记载了天地万物之间的生动联系。到了近代，随着各学科的分立和专门研究的深入，极大地丰富了对各种自然现象的认识。然而由于学科愈分愈细、研究愈来愈专，一些有识之士已渐感人为割断事物间联系的孤立研究的局限性，于是边缘学科不断兴起，继而一个新的更高一级的现代系统观便自然地诞生了。科学

也在“分”与“合”的对立统一中发展，有如百川归海、万木成林。

这就是人类科学发展过程中的总体思辨（古代）—分化（近代）—系统化（现代）的三部曲。

而现代系统科学，也确以与拉普拉斯决定论（已被证明只适合于有限的简单情况）不同的新颖思维方式，为人们提供了一整套认识复杂世界的研究方法。如通过系统分析方法、协同论方法、反馈方法、信息论方法、黑、灰箱—系统辨识方法、绝热消去原理、状态空间方法、人工智能方法、最优估计与最优控制方法、突变论方法、自适应方法、非线性系统方法等，不仅可研究多学科结合的系统 and 十分复杂的系统，而且使得对机理不清的系统的研究有了现实的可能。

现在看来，任何一个系统（包括地震系统）都可定义为：“由相互作用和相互依赖的若干组成部分结合成的具有特定功能的有机整体”。即每个系统都包含着若干个子系统，而该系统本身又是它所从属的一个更大系统的组成部分。

绝对封闭、孤立的系统在自然界几乎是不存在的。由于系统内部各子系统之间的相互作用一般都是在系统与周围环境（外系统）存在着能量、物质交换的背景下进行的，故其具体行为总是处在受本身规律支配和受环境影响的动态制约之中。

作为一般化系统，普遍具有如下特性：

（1）综合性：系统不是一个单体，而是一个集合体、综合体，它又和环境有着密切联系，存在着多输入、多输出的关系，其演化的未来不仅取决于当前，也取决于过去。可见系统不仅是多部件、多因子的综合，也是空间联系和时间联系的综合。

（2）整体性：系统不是各部分（要素）的偶然堆积，而是由各部分（要素）组成的有机整体，整体的性质和规律存在于各部分（要素）的相互联系、相互作用之中，系统的整体功能具有各个组成部分（要素）所没有的新功能。

（3）层次性：系统不仅在空间上有从属于自己的若干子系

统，而且在演化上也有不同的时间层次，高低层次之间既紧密联系又有相对独立性，其内部事物的强度一般都和相应的时空尺度相对应。

(4) 组织性：系统内各部分之间的有秩序状态，称为系统的组织性。系统为了增加它的有序度，必须从环境中汲取负熵，并可能通过子系统的协调作用和相干效应，由无规则的混乱状态组织为宏观有序状态。

(5) 其他特性：目的性、学习性、适应性等。

可见，系统科学以其丰富的内涵为我们提供了认识复杂自然系统（譬如地震系统）的有效方法论，其核心是以整体的观点、层次的观点、相互联系的观点进行综合研究，并充分重视系统与环境的统一、确定性与随机性的互补，因为有时甚至内、外小扰动的非线性增长都可能主宰着系统状态与演化前景的选择。

## 第二节 自然整体观

按着系统论的观点，系统乃是物质最普遍的存在状态。它可以很大，如整个银河系，整个太阳系、整个地球；它也可以很小，小到一个细胞、一个分子和一个原子。然而不管哪个系统，都不外乎是有关客体按着它们物理的、化学的、生物学的联系，所形成的相对独立的整体。而与系统发生直接联系的相邻部分便称之为“环境”。具体到地球而言，它具有从环境中输入和向环境输出物质、能量、信息的能力，并因此成为一个正常运行的广义开放系统。

其中，地球内生能除地球早期在形成铁镍核心时释放的重力能外，主要的还有放射性元素（ $U^{238}$ 、 $U^{235}$ 、 $Th^{232}$ 、 $K^{40}$  等）蜕变所产生的热能，其蜕变规律不受日变化和年变化的影响，半衰期都在  $10^9$ — $10^{10}$  年量级，属于比地球运动形式更高一级的节律范围，涉及地球起源，即实质上仍具有宇宙因素性质。外来能的

具体表现形式主要是地壳上的大规模质量迁移（例如大气环流、冰雪的冻结与消融、洋流的运动，甚至植物的季节性更替），以及地球的固体潮汐，但它们的根本能源还是太阳辐射能及星际引力等。

这些内、外能源的量级估计大致如表 1.1 所示。

表 1.1 各种大地能源的比较

| 能源类别  | 全球地表的总量 (获得的或释放的)         |                    |
|-------|---------------------------|--------------------|
|       | 产 率 (焦耳·年 <sup>-1</sup> ) | 相 对 强 度 (以大地热流为 1) |
| 太阳能   | $2.35 \times 10^{24}$     | 2304               |
| 地球放射性 |                           | ≈ 2                |
| 潮汐摩擦  | $2.09 \times 10^{19}$     | 0.020              |
| 化学反应  | 可以忽略                      | ≈ 0                |
| 大地热流  | $1.02 \times 10^{21}$     | 1                  |
| 地震    | $1.00 \times 10^{19}$     | 0.010              |
| 火山作用  | $9.20 \times 10^{18}$     | 0.009              |
| 温泉地热带 | $2.09 \times 10^{18}$     | 0.002              |

正因有上述能源背景，故在地球这个开放系统的演化过程中，涨落（指系统内部或系统与环境之间相互作用不协调，某个变量偏离平均值）是不可避免的，它是地球系统当之无愧的动力。涨落包括内部涨落和外部涨落。图 1.1 即表明在地球这个由气、液、固三态组成的大系统中，固体地球部分的运动状态（自转谱）受制于其内部（各圈层）涨落和外部（天文环境）涨落的情形。

该图上半部是地轴摆动变化的谱分析结果，下半部是日长变化的谱分析结果，其中黑竖线和阴影部分都是在相应频谱分析中所得到的变化较为显著的频率成分。同样有意义的是，对于这些显著谱线的形成，现在基本都可以从动力学理论上给出较为合理的解释。特别是，在这些物理成因中，大气圈对地球摆动和日长

的影响超过水圈，这是由于前者质量虽小但其速度很高的缘故。

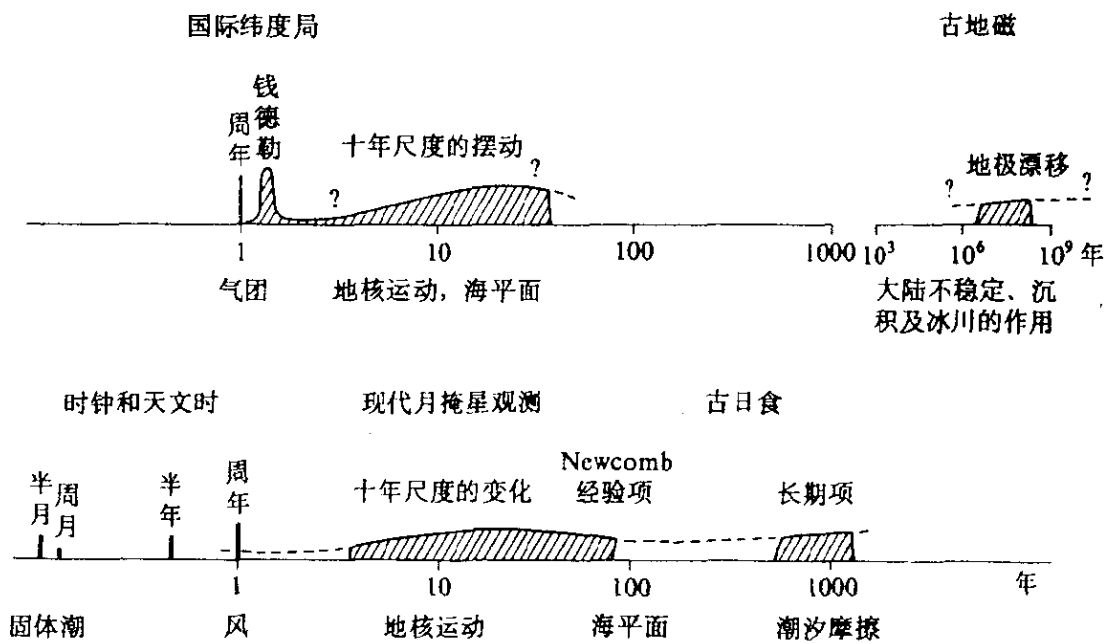


图 1.1 自转谱摆动分量(上图)和日长分量(下图)

纵线表示间断的频率，阴影部分为连续谱或噪音谱。

资料来源列于上边一行，下面给出可能的地球物理起因

地震，地球的局部构造运动现象，绝大多数都发生在断裂纵横的地壳内，地壳的平均厚度仅有 30 余公里，仅是半径为 6371 公里的地球的浅薄表层，故若定义它为地震系统的话，其上覆的水圈、大气圈、甚至宇宙圈及下伏的地幔、乃至地核便组成了它的环境（图 1.2）。而推动地震过程发生发展的根本原因，就在于地震系统与内、外环境之间的能量和物质交换。

P.Varga 根据 Molodensky 理论和有关地球模型，计算出在地壳地震的深度范围内，固体潮、大气压力产生的应力量级分别为  $10^2$  牛顿/米<sup>2</sup> 和  $10^2$ — $10^3$  牛顿/米<sup>2</sup>，海洋负荷、水库负荷产生的应力量级可达  $10^4$ — $10^5$  牛顿/米<sup>2</sup> 和  $10^5$ — $10^6$  牛顿/米<sup>2</sup>（限于海岸地区和库区周围）。它们的部分数值依据见图 1.3。

图 1.3 给出的是地球表面上两种空间尺度的法向加载（加载强度为 100 牛顿/米<sup>2</sup>）的数值试验结果，横坐标  $\psi$  为加载面积中心与观测点之间的角度，纵坐标  $p$  和  $\tau$  分别为流体静压力和最

大剪应力。从该图可以看出，无论是  $10^{\circ} \times 10^{\circ}$  面积的加载试验，还是  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  的加载试验，地表载荷在地壳内所产生的最大  $p$  值都处于加载中心  $\psi = 0$  处，所产生的最大  $\tau$  值分别处于加载区边缘  $\psi = 5^{\circ}$  和  $\psi = 0.5^{\circ}$  附近，作用深度主要在浅源地震的层次，有时涉及到中源地震的层次。

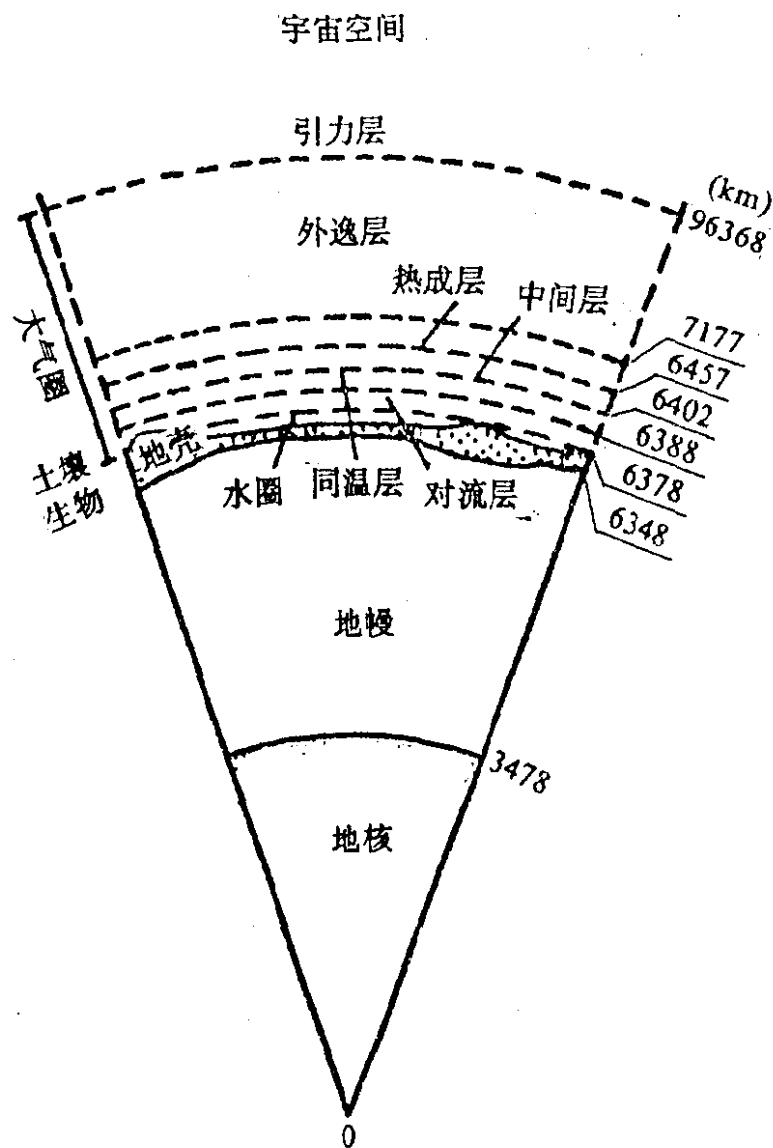


图 1.2 地震系统(主要由地壳构成)及其上下环境

不过，地壳基本构造应力场的形成和维持，主要还是与岩石圈板块运动有关。如大量的震源机制解、水压致裂测值、模型计算结果都表明，中国大陆应力场（特别是西部和中部）明显地呈现出以青藏高原为中心的辐射状格局，最大水平主应力值随着距

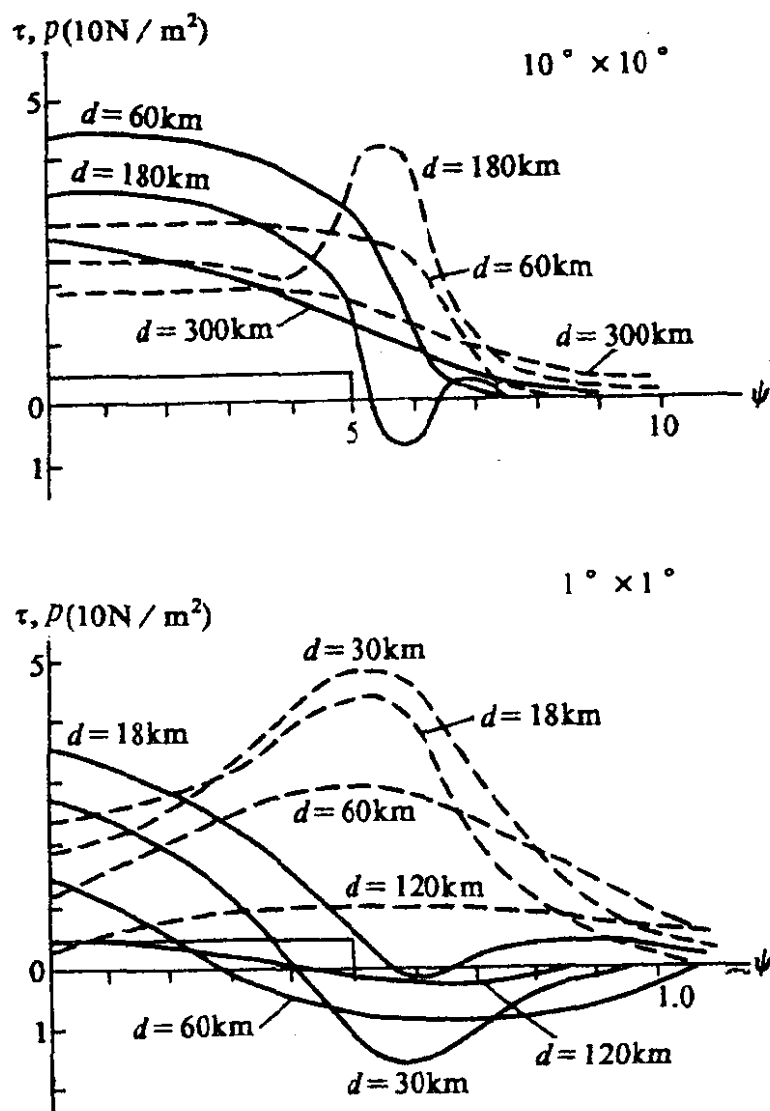


图 1.3 作用于不同球面梯形区域( $10^\circ \times 10^\circ$ ,  $1^\circ \times 1^\circ$ ) 的法向负荷 ( $100\text{N} / \text{m}^2$ ) 在地球内部不同深度  $d$  处产生的  
流体静压力  $p$  (——) 和最大剪应力  $\tau$  (-----)

印度与欧亚板块的缝合线的距离的增加而减小。而板块运动, 按盛行观点, 是地幔对流 (地球内部作用) 长期驱动的结果。但最近原苏联学者 Г.Г.Кочарян 等根据室内模拟实验和理论计算, 提出了一个像微震那样的无序弱振动转换为宏观有序的岩体移动的机制。当令微震振幅  $A = 10^{-4}$  厘米, 圆频率  $\omega = 1 \text{秒}^{-1}$ , 介质品质因子  $Q = 10^3$ , 且暂不考虑运动板块的尺度问题时, 得到一个周期的位移为  $A / Q = 10^{-7}$  厘米, 运动速度  $(A / Q) \cdot (\omega / 2\pi) \approx 2 \times 10^{-8}$  厘米 / 秒  $\approx 0.6$  厘米 / 年, 恰与据地质资料

所估计的板块运动量相近。由于微震活动早已被证明与地球表面上的气旋活动密切相关（现已发展为用微震对气旋跟踪定位），故由此机制推断，板块运动归根结底也在消耗着太阳能。

需要说明的是，上述不少供能形式所涉及的供能范围是相当大的。由于地壳结构很不均匀，前者既有可能通过大范围地壳介质、或中间某个地块的运动向震源传递应力，也可能通过触动地球内某一不稳定过程，例如上地幔软流圈中的过程，再向地壳中的震源处供能，但某些供能形式（如地表局部洪水堆积）也有可能直接供能于震源地方。

显见，地震的原动力问题是极复杂的。

此外，受大尺度应力场控制的地震系统内部各构造单元（如各断块等）间也是紧密联系、互相制约的。如当某一断裂发生地震时，随即会引起相当范围的应力调整，使那些处于临界状态的断块边界及块内断层或松弛、或加强、或失稳而进入新的动态平衡。如此不断的转移，使地震系统本身显示出一种“自激”能力。

由此可知，地震系统的具体行为取决于系统所处的具体条件。从内、外环境输入的能量和物质，经过地震这个系统的变换后，呈现出当时或随后所看到的相应地震动态变化。

### 第三节 地震层次论

在用自然整体观研究地震演化规律时，基于控震动力尺度和大地构造尺度的多样性，时空上必然会有高、低层次之分。

如从较高的层次上讲，中国大陆处在世界上两个最活动的地震带（环太平洋地震带和地中海—喜马拉雅地震带）之间，有些边缘区本身就是这两个带的组成部分，并且广大地区都受它们的影响，故中国的强震活动（特别是8级以上巨震）绝不是孤立进行的。图 1.4 清楚地反映出中国地震活动宏观有序的群体动态与全球 8 级巨震盛（本世纪上半叶）衰（本世纪下半叶）过程的密

切关系，这说明局域巨震群体的孕育和爆发原因已不仅限于人为划定的某个地震系统内部，而可能是地球的一次数十年甚至世纪性的动力扰动后果。当然，这是从整体上讲，若再仔细分析，还可知这种数十年全球性巨震高潮乃是由一些尺度为数年的短期增强过程所组成。中国的几组 8 级巨震的位相稍滞后于它们，这主要是因为全球巨震活动期中的一次次潮锋往往先起于世界两大地震带内，或者说是先起于几个大板块的碰撞带上，之后才发展到板内的中国大陆地区。

与上述大尺度巨震高潮相映照的是，全球活动的持续低落（见图 1.4）则可能隐示着某些行星性策动力转弱，从而也决定了中国大陆长期（如最近 40 余年）无 8 级巨震发生。

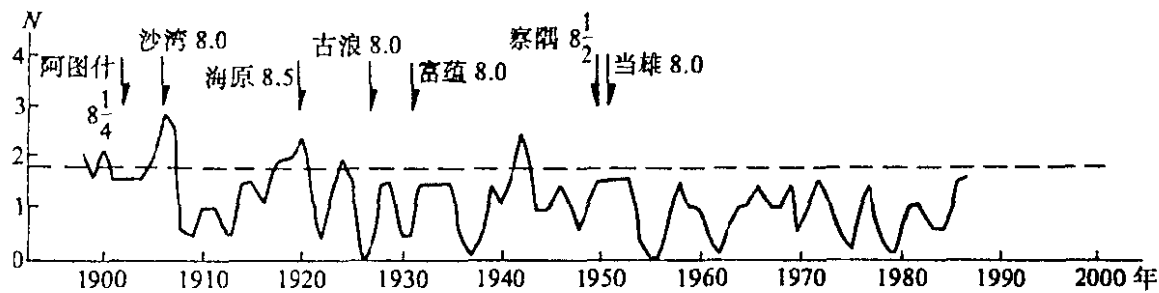


图 1.4 本世纪以来中国大陆 8 级巨震受控于全球巨震盛衰变化的情形

图中曲线为全球 8 级地震频数的两年滑动平均曲线

故而，全球地壳基本应力场（源于地内因素）上可能一直叠加有重要的变动应力场，后者又可能主要是外能源输入变化的结果。如从图 1.5 不难看出，除少数巨震爆发于太阳活动极盛期外，中国大陆 8 级巨震大都发生在或长或短的太阳活动减弱期中。特别是明、清之交的 17 世纪下半叶和 20 世纪上半叶，太阳活动曾出现过两段深而持久的极小期，而近 500 年来最强烈震撼中国大陆的两组密集型巨震就发生在这段时间。

据天文地球动力学有关研究可知，太阳活动持续偏弱，一般说来，利于地球纬向大气环流（特别是中纬度西风）盛行，继而固体地球自转加快和南北向压应力场增强。而我国大部分地域从很早的地质时代就受着南北向的强大挤压力作用，并因此形成了

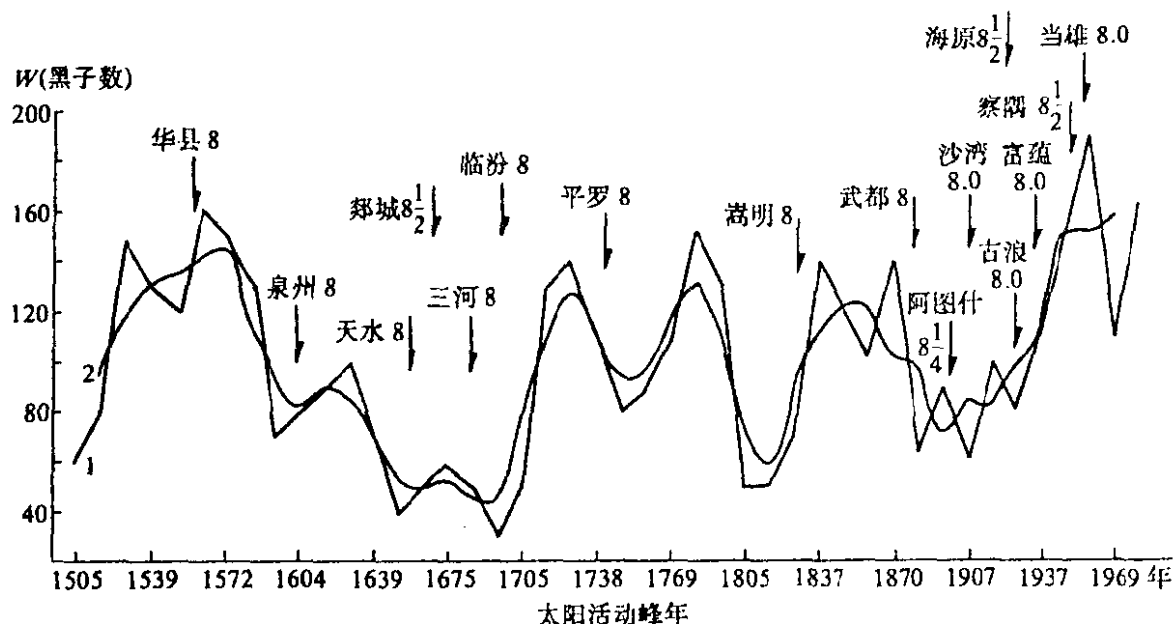


图 1.5 中国 8 级巨震频发于太阳长期活动中的减弱期

1. 各峰年黑子数的时间演变曲线; 2. 前者的三点滑动平均曲线

各种相应构造带。地球自转加快所产生的从两极指向赤道的附加应力正好与前者同向，故有可能增强这些带的构造活动，接连引发巨震。反之，太阳强烈活动时期，则极易导致大气经向过程发展和大气质量的重新分布，除影响地球转动外，还将使气-地系统重心产生位移，成为另一些巨震的发生机制。

对于这一较高层次的巨尺度演化，作为中国大陆一部分的云南地体，自然也参与活动。但若我们降低时空层次，仅研究云南强震甚至中强震问题时，除仍要参考上述大背景外，更主要的则应是详细分析其周围具体地体的边界力变化和紧附其上的大气、水分造成的局域旱涝振荡、气压涨落等对云南地壳的加卸载作用，以及云南地壳自身的构造不稳定性和区域应力-应变向震源的调整集中情况。

这样，又进一步涉及震源区这样一种空间尺度更小的层次。

从物理意义上讲，一定强度以上的地震都应有自己的能量积累和释放在过程，按其随时间的变化速率还可大致划分为几个阶段：较长时间的线性阶段、较短的非线性阶段和临界突变阶段。