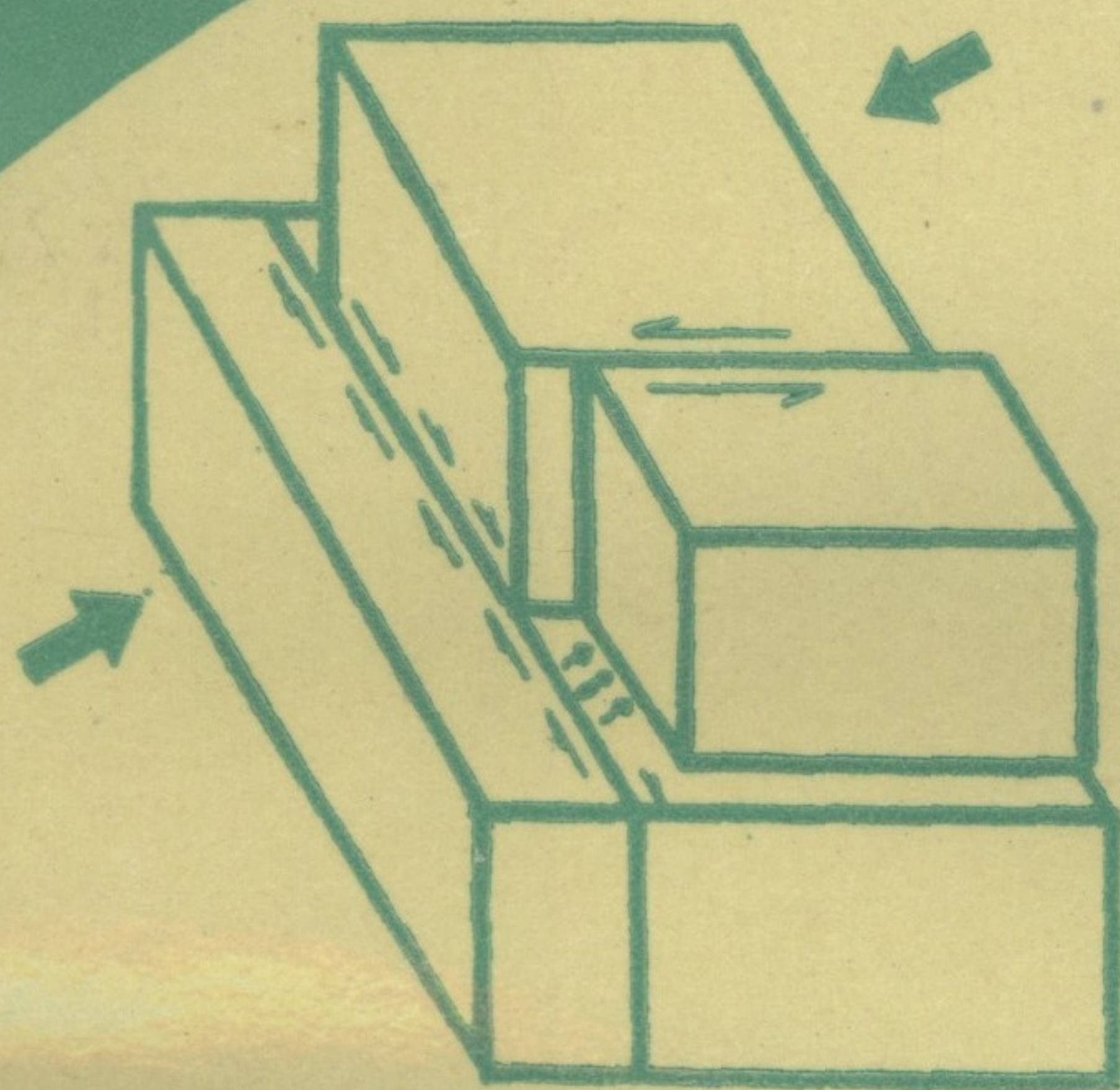


地震成因 和地震预报

郭增建 秦保燕 著



地震出版社



郭增建 研究员，陕西省商县人，1931年1月20日生。1953年毕业于西北大学物理系。长期在中国科学院地球物理所、兰州地球物理所、国家地震局兰州地震研究所从事地震成因和地震预报研究工作，近期同时研究综合自然灾害及地震对策。曾发表论文近百篇，并与秦保燕合著《震源物理》和《灾害物理》，与陈鑫连共同主编《地震对策》和《城市地震对策》等书。



秦保燕 研究员，江苏省无锡人，1937年8月27日生。1960年毕业于南京工学院工业与民用建筑系。长期在中国科学院兰州地球物理研究所和国家地震局兰州地震研究所从事地震成因和地震预报研究工作，近期同时研究综合自然灾害。曾发表论文60余篇，并与郭增建合著《震源物理》和《灾害物理》两书。

地震成因和地震预报

郭增建 秦保燕 著

地震出版社

1991

(京)新登字095号

内 容 提 要

本书是作者60年代以来从事地震成因和地震预报研究工作的总结。书中介绍了地壳内应力积累单元与应力调整单元组合形成震源的组合模式；介绍了活动断层之间的相互作用，即立交模式；以及反映外因、前兆现象、震源三者之间联系的短临预报调制模式。此外，作者还应用现代统计学的概念对复杂的系统进行了讨论。作者根据地震预报的需要从物理角度讨论了地震成因，又从成因的角度讨论了大量的国内外地震实例。这些研究的观点和方法可供从事地震预报的同行们参考。

地震成因和地震预报

郭增建 秦保燕 著

责任编辑：姚家榴

责任校对：耿 艳

地震出版社出版

北京民族学院南路9号
北京印刷一厂印刷
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 13.125 印张 352 千字
1991年12月第一版 1991年12月第一次印刷
印数 0001—1100

ISBN 7-5028-0501-X/P·329

(889)定价：8.00元

序

在自然灾害中，大地震带来的生命财产损失是极其严重的。如公元1556年1月23日的陕西关中大地震曾死人83万有奇，1920年12月16日甘肃和宁夏交界处发生8.5级大震，死人20余万；又如1976年7月28日河北省唐山发生7.8级大震，曾死人24万有余。因之自古以来人们就非常关心地震预报问题。然而解决这个问题却是非常艰难的。人们曾试图从各方面去研究它。例如从地震资料的直观统计到复杂统计，由前兆相关到外因相关等。这些做法都曾在地震预报中起到一定的作用。然而在地震预报的客观要求方面，必须三要素(发震地点、强度和时问)同时准确预报，以便取得实际的减灾效果。而统计方法往往要求很大的取样数目，这时就不得不把空间范围取大一些，这就导致预报地震发生地点的范围太大。在前兆分析中，由于干扰因素难以排除，所以分析前兆相当困难。即使分析确认为是前兆异常，但它与地震预报三要素之间的联系还不清楚之前也难实现有实际效果的地震预报。在外因相关方面，如果仅是现象相关，则外因作用范围往往很大，或是外因经常出现，如何考虑它们与地震三要素预报之间的联系也有一定困难。还应指出，服务于地震烈度区划的长期地震预报对地震发生时间虽不要求很具体，但对地震发生地点或地段却要求要很具体，因为在高烈度区如震中位置相差

10 km, 烈度就可能相差 1 度。在短临预报中, 如时间相差一周, 则造成的损失巨大。来自这两方面的要求都不是现有的统计方法所能回答的。

鉴于以上诸原因, 人们在继续研究统计预报的同时, 还要求进行物理预报, 即从地震成因角度联系地震三要素的预报。其中在地点预报上还要求对未来大震极震区长短轴方向进行预报, 因为这是与震时紧急救灾的有效部署密切相关的。

关于成因性预报的研究在国内外几乎是同时进行的。1972 年美国学者努尔(A. Nwr) 和 1973 年美国学者肖尔茨(H. Scholz) 提出扩容模式, 同年苏联学者米亚奇金(В. И. Млячкин) 提出裂缝丛集模式, 另外还有其它一些类似的模式。这些模式大都是以模拟实验作为根据的。但是这些模式有两方面的局限性, 一方面是样品太小, 不能模拟震源与其有关的外围部分的关系。例如只模拟破裂错动, 而不易模拟调整的区域; 另一方面的局限性是它们未能把野外的活动断层以及分层岩石圈包容进去。这样, 上述模式在应用到实际地震预报时就有很大的局限性。

作者开始涉足于地震成因与孕震模式的研究源于 1965 年, 首先我们在地震烈度鉴定工作中提出由构造分段求震源位置和震级(1965 年), 后发展为震源是由应力积累单元和其两端的应力调整单元共同组合而成的孕震模式, 简称组合模式(1973), 并由此来研究不同时间尺度的地震预报问题。后来又研究了断层发震之间的相互作用, 例如大震发生后的减震作用和加震作用。再又进一步研究深部蠕滑断层与上岩石圈中断层之间的关系, 即立交模式。由于外因、前兆和震源三者之间的联系, 所以我们在 1978 年提出了考虑三者之间联系的短临预报调制模式。由于震源是个复杂系统, 所以近年来我们还应用现代统计物理学的概念, 对这个复杂系统进行讨论。另外对于地震预报, 我们还用了大量的国内外地震实例进行讨论, 以便进一步在实际地震预报时参考。

本书从 1980 年开始动笔, 1984 年曾在广东地震局和武汉地

震研究所试讲初稿，以征求意见。后经6年努力，又补充了新内容，于1990年劳动节前交稿，并以此书作为对国际减灾10年开始时的献礼。由于作者水平有限，再加之地震成因和地震预报问题的复杂性，故书中谬误之处，愿同代者指正，愿后来者居上。

本书是作者数十年地震研究的系统总结，在研究工作中，曾得到国家地震局科技监测司、震害防御司和地震科学基金委员会的大力资助和支持，在此向上述单位深表谢意，同时也向曾热忱支持过我们研究工作的同志们致谢。

作者，1990年4月22日于兰州

目 录

第一章 绪论	(1)
第一节 地震成因研究内容.....	(2)
第二节 地震成因模式应满足的约束条件.....	(7)
第三节 研究地震成因应注意的几个问题.....	(12)
第二章 我国浅源大震形成的力源	(18)
第一节 中国地震的垂直力源和水平力源.....	(18)
第二节 水平运动的力源.....	(24)
第三节 垂直力源和它的独立性.....	(28)
第四节 水平力和垂直力的比例.....	(34)
第五节 水平力源和垂直力源的叠加.....	(39)
第三章 组合模式	(46)
第一节 组合模式的定义和类型.....	(46)
第二节 组合模式的特点.....	(54)
第三节 与组合模式相关的问题讨论.....	(64)
第四节 组合模式与前兆分布.....	(76)
第五节 组合模式与水库地震.....	(80)
第六节 组合模式与象力.....	(82)
第七节 组合模式举例.....	(91)
第八节 组合模式与地震预报.....	(97)
第九节 组合模式与其它模式的关系.....	(106)
第四章 叠加模式	(111)
第一节 垂直力与水平力的相互作用与震源孕育.....	(111)
第二节 叠加模式与岩石强度.....	(118)
第三节 叠加模式的某些效应.....	(120)
第四节 叠加模式在我国的应用.....	(123)

第五节	叠加模式在地震预报中的意义	(135)
第五章	层间解缚模式	(139)
第一节	层间解缚模式	(139)
第二节	用层间解缚模式讨论我国某些大震的余震特点	(150)
第三节	层间解缚的地球物理讨论	(156)
第四节	层间解缚模式与前兆异常	(159)
第五节	层间解缚模式的理论计算	(163)
第六章	立交模式	(169)
第一节	立交模式的前提	(169)
第二节	立交模式介绍	(174)
第三节	三层模式	(179)
第四节	上岩石圈中大地震发生对下岩石圈中剪切蠕滑线的反作用	(181)
第五节	立交模式在地震预报中的意义	(183)
第六节	立交模式与小震群	(196)
第七节	立交模式与大震重复性	(201)
第八节	立交模式与前兆穴位	(202)
第九节	与立交模式有关问题的讨论	(203)
第七章	断层组合与地震预报	(208)
第一节	平行断层之间的相互影响	(208)
第二节	走向互相垂直的断层在发震方面的相互影响	(220)
第三节	铅直剖面内断层组合在发震方面的互相影响	(224)
第四节	交遇断层的止裂问题	(226)
第五节	有关问题讨论	(227)
第八章	调制模式与短临地震预报	(233)
第一节	调制放大模式	(234)

第二节	外因调制震源过程的物理机制·····	(243)
第三节	立交模式中的调制·····	(250)
第四节	调制模式讨论·····	(252)
第九章	水库地震 ·····	(265)
第一节	注水、抽水诱发地震·····	(265)
第二节	水库地震简介·····	(267)
第三节	水库地震特征·····	(268)
第四节	水库地震的成因·····	(272)
第五节	水库地震预报·····	(283)
第六节	某些水库地震问题的讨论·····	(287)
第十章	地震预报讨论 ·····	(290)
第一节	古三论在地震预报中的意义·····	(290)
第二节	从震源物理化学角度讨论地震预报问题·····	(304)
第三节	从统计物理学角度讨论大震预报·····	(310)
第十一章	长、中、短临地震预报 ·····	(337)
第一节	长期预报·····	(338)
第二节	中长期预报·····	(354)
第三节	中期预报·····	(355)
第四节	短期地震预报·····	(357)
第五节	临震预报·····	(358)
第六节	1976年7月28日唐山大震不同预报期限的 预报讨论·····	(367)
第十二章	国外震例讨论 ·····	(379)
第一节	日本的地震·····	(379)
第二节	苏联的地震·····	(389)
第三节	美国的地震·····	(393)
第四节	其他国家的地震·····	(397)

第一章 绪 论

中国的地震预报工作实际上在本世纪 50 年代就初步开展了。1953—1957 年李善邦先生领导编制了中国地震烈度区划图（本书第一个作者曾参加了这项工作），它实际是用地震学和地质学的方法去预报今后地震发生的地点和强度（不包括时间）^[1]。1956 年在傅承义先生的倡议下，我国地震工作者把地震发生地点、强度和时间的三要素预报计划列入到中国自然科学十二年远景规划中。1958 年我国地震工作者组成了一个小型考察队到我国西北和西南曾发生过大震的地区作考察，不仅发现了地震本身的现象（如地面破裂带），而且还收集了很多有价值的短临宏观前兆现象，如地下水、地声、地光和动物异常等。1963 年傅承义先生发表了论述地震预报的专论^[2]。1964 年本书作者发表了用地下水位、水温和水中溶解的物质成分引起的色味变化进行地震预报的文章^[3]。1965 年中国科学院兰州地球物理研究所再次向国家科委呈递了西北地震预报的具体规划。1966 年初中国科学院地球物理所召开全国性的地震预报讨论会。会后不久河北省邢台地区发生大震。在周总理号召下，我国专群两支队伍同时登上预报舞台，开始进行震前现象的观测和监视。此后我国大陆地区频繁地发生大地震。如 1967 年河间地震、1969 年渤海地震和阳江地震以及 1970 年通海地震等。在这些地震发生前后，各种观测监视系统和群众测报网观测到了大量的、复杂的和说不清楚的异常现象。在这种情况下，如何理解所观测到的大量异常现象和其时空分布以及如何理解它们与大震之间在成因上的联系就成为迫切的问题了。1971 年我国地震工作者在三河县召开地震工作会议，在这个会议上开始交流了地震成因方面的研究工作，以

便解决上述问题。从此我国地震成因的研究就随着地震预报工作的开展而展开了。

在本世纪60年代，在地震科学方面国际上发生了许多重大事件。60年代初，日本学者鉴于本国地震灾害的严重性提出了正式的预报规划。随后美国阿拉斯加发生8.4级大震，遂使美国学者也开始搞地震预报。另外大致在上述同一时期，苏联学者也开始大规模地开展地震预报工作。在60年代后期，板块学说的问世对地震科学产生了重要影响。由于地震预报是多种学科的边缘科学问题，且人人关心，所以除了各国地震工作者致力于地震预报工作外，还吸引了其它方面的科学家对地震预报进行观测和考察，其中前兆的观测和考察特别多，在震前的声、光、电、磁、放射性、振动、生物等有关前兆方面已取得了大量资料。为了解释这些资料并提高地震预报效果，于是孕震模式的研究就成为各国学者不约而同所要探讨的问题了。70年代初，苏、美、日学者开始了地震模式的研究。这与我国地震学者在地震成因模式方面的研究是同时并进的。

第一节 地震成因研究内容

地震成因的研究主要包括以下内容^[4]。

一、 供能问题

震源是一个有一定范围的地域。在这里要发生大地震，必须要有能量供给。由于大地震是以岩体快速破裂错动传播的形式发生的，所以向震源地区供给的能量必须最终转换成为机械能。关于供能问题，涉及到大地构造动力学问题、天文学问题和地球物理学问题。例如太平洋板块和印度板块挤压中国大陆时，这个与挤压应力相应的能量就供给我国境内的震源区了。再如上地幔物质有垂直运动（这可由重力分异、物理化学分异、相变和岩浆运

移等引起)加在地壳底部时,地壳会发生形变,这种形变能也是供给震源能量的一种方式。在地壳内如有放射性热源,则热源在周围介质中引起的热应力区也可形成震源,这种供能方式是由热能转化为机械能。对于外因来说,如磁暴、大气压力突变和日月引力等也都对震源地方有能量供给。此外大地震本身发生时对其附近地区的震源也可直接供给能量;地球整体动态的变化也可给震源地方供给能量。这些能量中有的直接向震源地方供给机械能,有的还涉及到能量的转换问题。需要说明的是,在以上诸供能形式中,震源区并不大,而某些供能形式所涉及的供能范围却是相当大的。由于地壳结构很不均匀,在这种情况下还要讨论靠近震源区附近的地壳介质是如何向震源区传递这种能量的。例如印度板块向北北东方向的挤压使中国地壳大范围受压,而这个大范围被压的区域内有许多大小不等、形状不一和物性各异的构造块体,它们是整体连结在一起传递应力供给震源能量,还是通过中间某个块体的运动来传递应力供给震源能量呢?对于外因来说,外因给震源地方供给能量究竟是直接供给震源地方,还是触动地球内某一不稳定过程,例如上地幔软流圈中的过程,然后此过程再给地壳中震源地方供给能量呢?总之供能问题是地震模式中必须研究的一个问题。

二、储能问题

上面已谈过,大地震是介质快速破裂错动传播的结果,所以震源地方储存的能量必须是机械能,更具体的来说必须是弹性形变能。但是地壳介质是不均匀的。有的地方介质松软,不能储存弹性形变能;有的地方介质坚硬,能够储存弹性形变能。再进一步说,由于地震是一种剪切错动,所以震源地方储存的弹性形变能还必须是剪切弹性形变能。例如当断层面垂直于构造压力方向时,在这个面上有很高的正应力,相应地有压缩形变能,但是不能发震。另外地壳介质不是完全弹性的,所以要在这样的介质中储

存起很高的剪切弹性形变能，施加外力的速度还必须快。速度太慢了，介质中的应力就逐渐松弛了。还应指出，对大震成因模式的研究来说，我们必须结合具体的地壳状态。在此情况下就要了解地壳中哪些地方岩石坚硬，哪些地方松软；哪些地方完整，哪些地方破碎；哪些地方是纯固体，哪些地方还有流体。这些不同储能性质的地段的空间布局如何？它们与区域构造力作用的方向关系如何？为了了解储能地段将来可能发生多大地震，还应研究储能地段的体积大小。因为一个地震的大小取决于两个因素，即岩石的耐剪强度和震源断层面的大小，或者说取决于岩石耐剪强度和震源体积的大小。

三、应力场的潜变

地壳内应力场的具体图案是由构造力作用情况和地壳介质力学性质的不均匀性决定的。但上述两个因素都是随时间变化的，因此应力场的具体图案也是随时间变化的。对于大震孕育和地震预报来说，人们希望了解这种应力场图案和其随时间的变化。在实际中，大范围构造应力场变化是缓慢的，例如就板块学说来说，因为板块的惯性很大，它的运动不易快速改变。但是在地壳内不同地方介质性质的变化及岩体的运动却是相对快速的（相对于上述大范围构造应力施加而言的）。例如地壳内的非震蠕滑可以引起应力场的重新分布；相对软弱的包体介质随时间的蠕变也可使该包体外的围岩中应力重新分布；地球内的水、汽和浆体可以活动和运移，它们对岩石的性质有影响，如吸附作用、应力化学腐蚀作用都可使岩石弱化。另外，水、汽、浆以高压状态冲入岩缝中时也可引起局部应力场，它们的热学作用还可引起局部热应力。以上这些都可使应力场发生相对快一点的“潜移默变”。对于震源的孕育和地震预报来说，我们还应研究它们对震源形成有哪些具体影响。

四、放能问题

这个问题是震源模式和地震预报中很重要的一个问题。在地壳中，有的发震构造带长度可达几千公里，但就我国大陆地壳来说，即使最大的地震，例如 8.5 级地震其放能的断层长度也只有 200—300 公里。这就要求我们在地震之前去确定将来发生地震的地段究竟位于总发震构造中的哪一段，其长度是多少。为了达到这一目的，必须在发震构造带中找出将来可能近乎同时释放能量的地段，即找到的那个地段介质应当近于脆性，将来发震时破裂错动可在其内快速传播，此外还应找到破裂快速传播多长后停止，即断层破裂错动的停止条件。这种止裂条件一般是在介质强度较弱的地区，如热区、破碎区和未胶结好的断层带等（包括与错动断层横交的断层）地区得到满足，因为这些地方不能积累很高的弹性应力，但是具有较高的变形能力。这里必须指出的是地壳中的弱介质区能否积累起弹性应力还取决于构造力施加的速度。当外力施加的速度快时，则软弱程度不很大的介质也可积累弹性形变能，因之这种地方将不能起到阻止破裂传播的作用。这样，未来放能的断层长度就要修正。因此我们应当寻找那种物性特别弱且空间尺度足够大的地方作为止裂的地方。对于传播着的断层来说，前方横交的胶结不牢的断层虽可起止裂作用，但还要考虑传播断层的盘向效应以判断能否止裂^[5]。另外在剪切破裂传播的过程中还要考虑破裂传播方向的防拐条件，这是保证特大地震发生的条件之一。*在地震预报中，人们特别关心震源地方储存的能量在其大释放前的预释放。这种预释放包括以下几个方面：一个是积累弹性形变能的震源地方在大错动前的预滑或预位移以及它们所伴随的中小地震；另一个是震源区外围或更远的区域内

* 郭增建、秦保燕，8 级以上大震的震源体讨论，中国 8 级大震学术讨论会论文摘要汇编，1982。

介质的调整性运动或滑动以及它们所引起的中小地震。按照我们的震源孕育组合模式的观点，后一种预释放对震源地方起有应力集中作用，为将来错动提供让位，因之也与大震发生有关。另外在大震发生后，人们还关心续发性大震和强余震的发生问题。其中晚期强余震发生于人们已失掉警惕的情况下，因之具有一定的危害性。这些都属于地震成因模式研究中的放能问题。

五、构造运动协调问题

在研究地震成因模式时，虽然我们主要讨论的是震源和其附近相关的区域。但是在大陆内部沿一个断层带在长时间内重复发生大震（例如从古地震到现在）所形成的总错动幅度是相当大的，它最终容纳到那里去了或是怎样消敛的。这个问题虽然远了一些，但在地震成因模式的研究中也要涉及。在某些情况下，一些软弱介质区可以容纳和消敛大地震时断层的巨大错动，但有时就不行。对此需要从大地构造的尺度来讨论它。板块学说曾很好地解决了板间地震所涉及的构造协调问题，但对板内地震的构造协调问题还需进一步研究。这可能涉及到板内镶嵌块体之间的运动协调问题以及垂直运动和水平运动的相互转化问题。

六、前兆表现

研究地震成因的最终目的是要由此进一步认识地震前兆现象的本质，从而提高地震预报的能力，因此在研究地震成因时必然要研究在震前震源地方和其附近的变动（例如预释放）是通过什么方式和前兆联系起来的，这种变动和未来地震的强度、地点以及发生时间是什么关系。就目前所知，震源区相邻地域内的变动也与震源区的发震有关，因之相邻地区的变动所引起的现象也是一种前兆，这就是远距离前兆。还应指出，地震的孕育阶段距发震的时间不同，别有所谓长、中、短、临前兆的区分。这种时间分法，目前只是现象上的分法，还不是物理上的分法。而物理上

的分法就涉及到震源孕育模式的问题。再者外因是可调制震源过程的，因之由震源区和其附近变动过程引起的前兆可称为原生前兆；外因调制震源过程后又激励起的前兆或使原生前兆加剧，这种前兆可称被调制的前兆。根据以往的观测，不同构造地区的不同地震，其前兆的类型和显著程度是不相同的。因之还要研究不同类型地震的前兆。现已发现即使用地震波所求的震源机制完全相同的地震，其前兆也不一定相同。这是因为地震波发射相同的地震不等于震源孕育过程必然相同。对于地震预报来说，首先是研究各种前兆的多样性，然后提取其共同性，并将其模式化（即找到物理解释），并用于地震预报。

第二节 地震成因模式应满足的约束条件

由于地震问题非常复杂，而人们又不能直接去了解震源，在这种情况下根据地震前后出现的主要事实，建立接近于实际震源的成因模式是十分必要的。在建立模式时借助于某些假定去刻划震源的细节是不必要的，因为地下的复杂性可使这种细节不存在。但带有控制性的物理问题则不可回避。这就是地震成因的研究往往以模式的形式出现的主要原因。目前建立的成因模式特别多，如何去衡量某种模式的正确与否呢？我们认为，一种科学的地震成因模式，应能满足以下的约束条件。

一、合理的震源模式应能引发出地震发生时人们所观测到的基本事实

这是一个起码的约束条件，然而有时也被忽视了。例如浅源大地震是断层错动引起的，在我国境内震源地方大都以平推错动为主且有时带有共轭性，这就不能假设垂直运动是孕震的主要力源（当然也不能忽视这个力源）；又如，大震的震源断层其长度延伸很大，这就不能假设震源体是个球体。再者，地震时断层的