

中国大震问题

郭安宁 陈家超 著

地震出版社

中国大震问题

郭安宁 陈家超 著

地震出版社

内 容 提 要

这是一本论及大震综合问题的书。大震对人类社会造成的影响最大，大震孕育的时间最长，前兆现象最突出，因此大震很可能是地震预报的突破窗口。作者多年研究大震的孕育问题、本书从中国浅源大震的力源问题，物质分异与大震孕育、8级大震的构造背景及时间特征、断层发震的相互作用……等方面讨论了大震问题，可供从事地震预报研究的同行参考。

中国大震问题

郭安宁 陈家超著

责任编辑：姚家榴

责任校对：庞娅萍

出版发行：地震出版社

北京民族学院南路9号

邮编：100081

发行部：68423031 68467993

传真：68423031

门市部：68467991

传真：68467972

总编室：68462709 68423029

传真：68467972

E-mail: seis@ht.rol.cn.net

经销：全国各地新华书店

印刷：北京地大彩印厂

版（印）次：2002年4月第一版 2002年4月第一次印刷

开本：787×1092 1/16

字数：240千字

印张：9.5

印数：001~300

书号：135028·2585

定价：20.00元

版权所有 翻印必究

（图书出现印装问题，本社负责调换）

序

凡书都要有个序，这似乎是一个不成文的规矩，可当我一拿起笔来时脑子里空空的，不知怎样写才好，想来想去还是以不落俗套为好，就把自己写此书时的随想思绪及一些不怎么成熟的见解写成序言，一来也说了自己的话，二来也算作此书的构思经过吧。

这是一本论及大震综合问题的书，但确切地说还远未成熟，远未系统化，书仅是阶段性成果，里面有待研究的问题还很多，而今后被证明是错误的东西肯定会不少的。

业内很多人对大震的研究内涵可能还不甚清楚或未深究过。大震的研究不仅仅是“大”字所表示的数量的增长，更重要的是地震预报的突破窗口很可能是针对大震的研究和预报。这个问题怎样解释呢？首先我们在这里探讨一个这样的问题：先抛开高层次的地震能预报与不能预报这一大概念不说，换个说法，即哪种类型的地震可能被人们首先预报。举个例子就像癌症的治疗一样，笼统地说癌症能治不能治都是不科学的，因为每一类型的癌症可治程度是不一样的，而且在时间上早期的治疗与晚期的治疗效果也相差很大，早期的可以存活十几年，而晚期的可能只能存活几个月。这种从质上对研究的事物先进行分类再作结论的方法是一种科学的思考方法。同样我们用这种思路来思考地震的预报问题。为了地震预报，首先要分清是什么类型的地震在什么时间捕捉的地震前兆信息才能把握地震的发生呢？现将本人未深思熟虑的几点想法列于以下：

(1) 针对板缘型与板内型地震而言，板缘型地震将首先得到突破，因为板缘型地震的力学性质简单，是单一力源的作用带，位置的确定就容易一些，且地震频发，而频发给统计学带来施展方法的空间。

(2) 在断裂较明显地区的地震较之断裂不明显的新发构造的地震易于预报，可能的原因一是发震的地点预报已是被限于构造的这一线上，其次构造发育意味着地下的信息易于被传到地表，从而使人们感知而被测知，即信息的通透性好。

(3) 对于构造性的地震，其构造在地表上沟通越远则地震越易于被预报，因为沟通越远即意味着一旦有地震的异常信息则被导通的越远，从而被人们从更大范围感知，信息不易遗漏。

(4) 浅源地震比深源的地震预报可能更为容易一些，浅比深的信息通透性好，因而从信息通透性概念自然不难理解这一点了。

(5) 可能具有复杂物化条件的地壳内发生的地震易于预报，这是因为地震

的发生是一个复杂系统中的复杂事件，且这个复杂事件的结果带有偶然性质的混沌性，这就决定了对其发生结果不可能是单一的一两个指标就能确定的，判别的指标越多则越接近结果的真实性。现今地震预报在手段上是隔着一层地壳间接探知，类似中医的“问诊”方式，这就更需要指标越多越好了，而复杂的地壳物化条件在地震孕育过程中可能激发起更多物化条件，从而以多种的前兆形式出现，这样能使预报手段上有丰富的显示，从而有更多把握的机会。

(6) 很明显序列性的地震（尤其是有丰富的前震）要比孤立性的地震易于预报。对于这两种地震类型从地壳材料性质上是否可以这样设想：不均的杂合的脆性地壳较均匀的单一的塑性的地壳在地震的发生上有更多序列性的地震出现，这是因为前一种材料在性质上决定了在大破裂发生之前伴随有更多的小破裂出现。前震的丰富使地震学预报手段得以施展。

(7) 在这里言归正传，那就是大地震要比小地震易于预报，打个比喻就好像成大气者必有大势，而发生大地震就好比是成大气者，自然必有大势，而这个大势就是前兆信息，越大震，前兆表现的越突出，前兆持续的时间越长，而正是基于这些我们才能捕捉到更多的前兆，才能从更多的前兆信息中寻找一些有规律的东西来作为以后有效的预报指标，而小地震对于很多前兆现象就有表现不足之嫌了。其次对于大地震来说它对外因的调制更为敏感，而外因调制本人一直认为它是地震之短临预报的突破口。而大地震对于外因的敏感性决定了在其发生前有更多的外因性前兆表现出来。因而大震研究不仅是一个在震级数量上大一点概念，它的内涵及外延都有很多与小震不同的实质，对它的研究是对地震预报最重要的突破战场。

在这里要讨论的一个问题就是：什么时段的前兆信息最能反映地震的发生？对于这个问题的解答将使我们更有效地捕捉前兆。本人从很多震例资料总结中似乎得出这样一个印象：大凡可以被说清楚的地震前兆大约出现在地震发生的前3个月，而可能被识别的前兆端倪出现在震前3天，到震前3小时则全面暴发各种奇异的前兆现象了。从科学认识的角度而言震前3个月之前的前兆观测资料我们是毫无把握的，而最重要的是震前3天的前兆资料（这个3天、3个月是一个为了能表述方便的粗略的划分，仅是一个时间段的概念），这是前兆观测的“黄金时段”，数据是“黄金数据”。因而可以说地震预报是带有强烈即时性的，可是这个即时性的问题就不得不触及现今地震预报体制了。回视现今的预报体制，为了能使预报更为慎重，形成了一系列层层把关的预报意见的生成、发布体系，不能说这个方式不对，可是在客观上地震预报的即时性与主观上地震预报的慎重性发生了严重的矛盾。我们是否会闹出这样的笑话：“地震是报出来了，但地震却早已发生了。”因而这些问题不能不引起我们对它的思考。

另外本书用较大的篇幅阐述了地震的力源问题，这个问题不是一个学究式

的基础理论问题，而是有关现实的中、长期的预报指标的提取问题，换言之就是位置的预报。曾几何时认为垂直力源是地壳的强大动力的观点占有绝对的统治地位，沧海桑田是垂直运动的典型写照，但到后来人们看到冈瓦纳古陆像被撕裂的烧饼漂来漂去时，水平运动就占了统治地位，而这种局面一直延续至今。对于中国地震的力源问题几乎异口同声地说：“中国地震的动力来源来自太平洋与印度洋板块的挤压”，在这个风行一时的思想支配下垂直运动几乎就销声匿迹了。很自然，力作用大的地方变形大，那么观测到变形大的地方自然是应力集中的地带了，而应力集中必然是地震易于发生的地方了，这一连贯的思路就是现今从地球动力学角度研究地震预报的习惯思路，包括断层滑动速率的观测、GPS观测等，它确实也无可厚非，可是要形成一个地震破裂，需要的条件不止是一个，应力的集中毕竟只是很重要的一个条件，促成一个地震的发生要有别的辅助条件。如像鄂尔多斯、塔里木地块尽管应力很高，但是却没有地震发生。另外就是滑动速率很大也未必能发生大的地震，因为能量没有积累的前题，都被预滑掉了，这又是一个矛盾的话题，看来仅有力的作用大这一个指标是不够的。本书在这个问题上得出的结论是：“地壳破裂的高应力、大位移带固然是地震发生地点预报的重要依据，但是水平力源与垂直力源叠加的地方更是一个重要的指标”。换言之就是地震的孕成点除了在地壳运动快的地方外，力源的“上下”，“左右”夹攻处又是一个重要选点指标。垂直力源的参与不单是一个力的因素，它还创造了破裂发生的一些其它条件，比如错动的让位空间等，本书用较多的笔墨阐述了这个问题，但仍远未能有一个结论，还有待于进一步研究，比如不是很大的垂直力源就可能造成孕震体（有很多这样的震例）。

其次还有一个问题就是唯象与唯理的认识观点之争。唯理就是针对事物之间的联系，有清晰的物理原理的认识方法，这一点决定了它唯一是从物理角度去认识事物的联系。而唯象则是针对事物与事物的联系认识它时首先注重的是现象与现象之间的关联度，而原理一时不清楚也不妨碍对现象之间的认识。这两种问题的思考方法之争在地震界内曾一度撼起过很大的波澜，时至今日还有这种争论，唯理派应该说占有上风，他们认为若物理机制不清楚的地震预报方法是不可取的，即就是联系好也不行。作者在这里提起这个问题就是不拘同这种看法，难道人参对人体的作用机理未弄清楚之前我们就不服用人参了吗？难道地磁场的成因未弄清楚之前我们就不用指南针了吗？就认为磁导航不科学了吗？当然不，那地震预报也应是这样，试问地震预报的目的是为什么？其目的就是预报，预报的准确性是地震预报的唯一试金石，现今还暂时说不清楚的事物与事物之间的联系不是说它没有被联系，而是未被人们认识到罢了，因而不要轻而易举地斥为不科学，否则我们的预报思路是否太僵化了。而具有戏剧性的就是有时这种唯象的预报比唯理的预报的准，难道我们要因噎废食吗！在本

书中我们的研究也涉及这个问题。在唯象的联系上有两种可能的情况，一是物理机制的质与量都未被认识到，另一种是质可能说的过去，但是量却说不过去。对于中长期预报来说唯理的，内因机制论可能是较好的途径，但对于短临预报来说却是唯象的，对外因调制的敏感性可能是较好的途径。

还有一个欲言的问题就是所谓预报的“群测群防”的问题，可能这种表述不是太严谨，准确地说应是那种预报手段数量大但观测精度低的类型，这是“群测群防”的典型特征。“专群结合、群测群防”是20世纪60年代邢台地震后周恩来总理对地震工作提出的八字方针。但时至今日，有些人对此不以为然了，首先突出的一个问题就是对“群测群防”提出质疑，认为它观测精度低，不足以预报地震，对它持否定态度。而本人的观点恰与此相反，认为这种铺天盖地的观测网恰是攻破地震预报的关键所在（当然观测精度高更好），因为地震是复杂系统中的复杂事件的最终表现形式，因而在它的前兆表现上也呈现出复杂性，就像一个人在生病之前所表现的症状一样，可能是发热、皮肤变化、食欲等等都会有所表现，而且每一症状细分又有很多类型，重要的是医生在诊断时必须依赖多方面症状才能确诊（因为人是复杂系统，病是复杂的表现），因而在这里综合是诊病是否正确的要点，单一的手段和指标是不能确诊的，综合是唯一的途径。而要诊地震就更困难，一来地震的诊断完全是“隔诊”，不能直接观察，其次有关地震前兆的信息“泄露”处不知在什么地方，不像诊人五脏六腑皆可定位，因而除了我们在信息上要有综合性外，空间上还要有广度，这样才能收集到地震前兆的信息。第二个问题就是统计的精度与单个的精度之争，举个例子，在诊病时仅凭一个人的肚子疼我们什么也诊断不了，可是若是一群过集体生活的学生，在饭后大多数都感到肚子疼，那我们马上就可以诊断是食物中毒。要是有人攻击你仅凭肚子疼这一极其粗略的指标就断定是食物中毒是不科学的，你作何感想？这是一个概念上的错误，一个是单个体的研究，而另一个是建立在群体统计基础上的研究，若是研究一个病例，那么肚子疼、排泄物化验等等是判定食物中毒的指标，它有单体的精度，而我们根据一学生集体在饭后肚子疼而断定食物中毒是统计的精度，二者不可互比及混淆。而我们精度不高的群测点一个、二个在观测到有地震异常时可认为是干扰，仪器误差，但是几十、几百个观测点在同一时间都发生异常那用干扰与仪器误差就不好解释了，那肯定是出现前兆信息了。因而这有一定密度的、但个体精度不高的测报点的组合观测效应就是统计精度，且“群测群防”方式统计精度高。另外统计精度高尤其在单个手段无法判别地震信息时显得更为重要。

暂时就述到这里，本书的内容也是很多人的工作所成，作者无非是萃取与“锦上添花”而已，一些成果仅供界内人士研究时参考，从作者心里衷心希望本书能起到一个抛砖引玉的作用。

目 录

第一章 中国浅源大震发生的力源问题	(1)
第一节 我国浅源大震力源的历史观点	(1)
第二节 中国地形地貌表现出的垂直运动	(2)
第三节 强烈的现代水平运动的发现	(7)
第四节 水平压力的来源	(12)
第五节 独立性和派生性垂直运动的讨论	(14)
第六节 叠加力源的提出	(23)
第二章 物质分异与大震孕育	(27)
第一节 地壳垂直力源的成因探讨——岩浆垂直分异运动	(27)
第二节 岩浆分异运动所导致的物理化学作用与地震发生的关系	(36)
第三节 物质分异、地震孕育	(42)
第三章 8级大震的构造物理背景及时间特征	(45)
第一节 8级大震发生的体积条件	(45)
第二节 断层传播的防拐条件和止裂条件	(54)
第三节 某些特殊地域的大震	(61)
第四节 8级以上大震的地表破裂带宽度	(66)
第五节 立交模式与8级大震	(70)
第六节 外因与8级大震的相关性	(72)
第七节 垂震底继大震的讨论	(84)
第四章 断层发震的相互作用	(90)
第一节 本减作用	(91)
第二节 外减作用	(95)
第三节 限减作用	(99)
第五章 大震发生的剪切与旋转叠加——布里季曼效应	(103)
第一节 布里季曼效应及与孕震发生的关系	(103)
第二节 大震前大地水准测量显示出的布里季曼效应的旋扭前兆	(112)
第三节 活动构造上地质运动表现出的布里季曼效应与地震活动的关系	(113)
第四节 断层本身运动性质变化和断层彼此相互作用产生的布里季曼效应	(116)
第五节 地球物理探测所能显示的布里季曼效应的指标探讨	(118)
第六章 科里奥利力的震源效应及余震强度预报	(121)
第一节 科里奥利力及震源效应	(121)
第二节 中国及邻区7级以上强震的余震强度的科里奥利力效应判别	(133)
第三节 科里奥利力效应在强余震预报及地震烈度区划中的应用	(138)

第一章 中国浅源大震发生的力源问题

第一节 我国浅源大震力源的历史观点

对于中国浅源大震力源问题的认识和讨论是经历了一个历史过程的。这个认识过程对我们今天研究地震活动的力源仍然是有意义的。它的历程是先以垂直力源占主导地位，而后以水平力源占主导地位至今，这里我们分别介绍垂直运动学派和水平运动学派两种力源的历史观点。

我国的地震工作是在新中国成立后才较大规模开展起来的。50年代初期由于我国第一个五年建设计划的需要，中国科学院地球物理所开始进行地震烈度区域划分工作。当时采用两个划分原则：一是历史地震重演原则，即某地过去发生过多大的地震，未来还会重演；二是地震地质的类比原则，即地质构造条件相类似的地方其地震危险性也相类似。在地震地质原则中，主要应用苏联果尔什可夫的观点，即年轻的强烈的分异运动带（或称差异运动带）是未来大震发生的地带。这里所说的分异运动是指垂直分异运动。果尔什可夫当时补充指出，没有这些特征不一定没有地震，但是在大多数场合中，大地震常发生在分异运动强烈的地带。这个观点的物理实质如下：

1) 所谓“年轻”是指用地质学方法所能确定的最新的构造运动。因为这种构造运动其活动性现在可能仍在持续着，因之才有可能推断现今和将来大地震的发生情况。在这种观点影响下，我国地震工作者和地质、地理工作者研究新构造运动的兴趣开始盛行。1956年我国地质学界举行了中国科学院第一次新构造运动座谈会。此后新构造运动的标志，如“扇中扇”、“谷中谷”，夷平面和阶地等垂直运动的现象在我国得到了地震地质工作者的普遍注意。

2) 所谓“强烈”，意味着构造运动速度快。因为介质受力速度快时，其内储存弹性形变能的能力才高，而当介质内弹性形变能积累的比例大时才有利于发生大地震。由于这种原因，所以人们在寻找新构造运动标志的同时还注意了其强烈程度。按照麦克斯威尔体的应力-应变关系，当构造运动给地壳岩石施加力的速度快时，岩石内储存的弹性形变能比例高，反之则低。弹性形变能比例高时易于发生大震，比例低时不易发生大震。

3) 所谓“差异运动”，是指具有垂直剪切运动形式的那类构造运动，一般这种运动的地带易于发生大震。例如一个块体相对于另一个块体升起后，虽然这个块体内部和边缘部分都是同样年轻而强烈地抬升，但只有边缘部分垂直剪切运动强烈，因之在这里易于产生断裂和发生大地震，而在块体内部则不易发生大震。在隆起和挠曲的过渡带（不一定是断层接触带），其内剪切应力也是相对大的地方，因之也可发生强震（图1.1）。根据以上三点，在20世纪50、60年代，我国地震工作者大都认为年轻而强烈的垂直差异运动带是地震活动带。

应当指出，所谓垂直差异运动是广义的，即包括地表露出的垂直差异运动带（有时称为地形对照性强的地带），同时也包括埋在现代冲积层下面的垂直差异运动（即负地形对照性）带，另外，地球内某层的垂直差异运动也在定义之内。

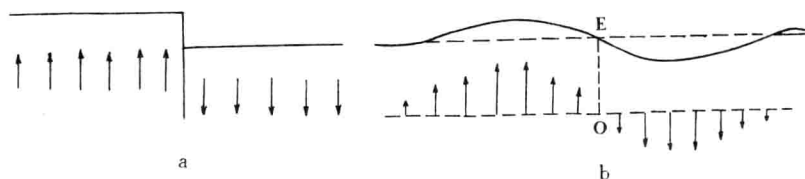


图1.1 垂直差异运动的类型

a. 断层盘接触的垂直差异运动；b. 隆起与挠曲的过渡带

第二节 中国地形地貌表现出的垂直运动

台湾是我国地震最强烈的地区。它的地形高差十分明显，台湾中央山脉是晚第三纪从海中升起的，而现在最高峰达 3950m。台湾东海岸十分陡峭，以很大的坡度跌落到深 3000m 的大洋盆地，高差总计达 7000m。台湾花溪—秀姑峦溪谷地是明显的断裂谷，新断裂屡见不鲜，谷坡陡峭，重力堆积发育，反映了沿台东断裂垂直差异运动十分强烈。台湾西部中央山脉和前缘拗陷之间以及滨河平原的内部均有北北东向大断裂，平原之下晚第三纪及第四纪堆积总厚在 200m 以上，与中央山脉和阿里山脉相比，可见两者差异幅度也达数千米。台湾新生代以来强烈的构造运动一直持续到现在，以至在目前的地形、水系、火山活动等方面均有表现。

属于地中海—喜马拉雅山地震带的我国西藏南缘地带，新构造运动十分强烈，喜马拉雅山从始新世以后从海中升起，现在海拔高度已达到 8820m 以上，可见运动速度、幅度之大。喜马拉雅山脉和其南面的印度河、恒河平原地形差异的强烈在世界上也是最为突出的。在喜马拉雅山脉东端曾发生过察隅、阿萨姆 8 级大震，这里垂直差异运动也十分显著，布拉马普特拉河平原东部紧靠在喜马拉雅山前。

我国东部与西部分界的南北向地震带是地形上一个很大的阶梯带。贺兰山海拔 2765m，而银川平原下陷了几乎是大陆上最厚的第四纪沉积的厚度，厚达 1605m。发生过海原大地震的古浪—海原大断裂，其东北侧在中、新生代均形成较深的拗陷。南北地震带中段从天水至武都、文县一带正处于东、西秦岭分界的地形转折线上，落差在 1000m 左右，而在这一线附近是总体以北北东和北北西向方向呈雁行排列的一系列小型断陷盆地，在中、新生代拗陷深达 2000m 左右。从重力堆积、水系及地貌特征观察，这些盆地中差异运动现在仍继续着。川西龙门山和成都平原的垂直差异活动也是很明显的，成都平原第四纪就下沉了 2000m 以上。而南北地震带南段垂直差异运动在地貌上表现明显，如安宁河断裂带、滇东断裂带均成高山深谷地形。西昌等地昔格达层的变形，第四纪以来沿断裂差异运动在 600m 以上。滇东断裂上一系列湖泊是地壳强烈下降的产物。

华北地区地震强度最大的山西隆起区断陷地震带，是华北新生代垂直差异运动幅度最大的地区。新生代厚数千米，第四系厚度从 300 多 m 至 1295m 的各盆地都断落在华北最高的一系列山脉（燕山、五台山、恒山、霍山、吕梁山、华山、秦岭）之间。对历史强震区的解剖，说明强震往往与断陷盆地中新生代以来垂直差异运动最强烈的构造部位有关。如 1556

年关中大地震，1038年忻县、定襄间地震等。华北平原断陷地震带与前者类似，强震区往往自新生代至今仍有继续性的强烈垂直差异运动。邢台强震区、河间强震区、马坊强震区等均有下沉很大的断陷。太行山前大断裂地震带从地貌和物探资料分析也有一定强度的垂直差异运动。

东北和华南地区的垂直差异运动总的看来是不强的，而其地震的强度、频度方面也是较弱的。但其中一些重要的地震带同样反映了相对较强的垂直差异运动的特征。如闽粤沿海地震带的长乐—诏安深断裂，在新构造运动时期有明显的东降西升活动，沿这一线有一系列断层崖及抬升的海岸侵蚀地貌。华南另一强震区江汉—洞庭湖地区则是华南第四纪拗陷最深的地区。沿发生过 $6\frac{1}{2}$ 级地震的常德太阳山断裂，第四纪以来有明显的差异性运动。另外琼北地区1605年发生过海陷大地震，这个地区则是几个断块垂直差异运动最强烈的地区。

我国西北地震带的分布和垂直差异运动表现了最清楚的对应关系。无论在天山或阿尔泰山，还是河西走廊或柴达木盆地，强震区都位于高山区的褶皱带与盆地和前缘拗陷之间的具有强烈差异运动的大断裂带上，少数在具有同样巨大差异幅度的山间盆地中。在天山，地震强度与差异幅度大致相对应，在我国境内，天山自西向东从海拔7000m到中段5000余m，至东段仅200~3000m。地震在西段强度大（最大震级8.5级）、频度高，到中段频度、强度中等（最大震级8级）至东段频度和强度都较弱。

我国西南地区处于青藏高原的甘孜—康定地震带及中甸—下关地震带等都具明显的垂直差异运动特征。苍山、洱海便是断裂带最新差异活动的产物。

综上所述，我国绝大多数强地震带和强震区都伴随有强烈的垂直差异运动。以下介绍一些典型的实例。

1. 银川地震带

这个地震带历史上曾多次发生破坏性地震，其中最大的一次是1739年1月3日的银川平罗8级大震。图1.2中虚线围的椭圆为该震的Ⅸ度极震区（极震区南端吴忠附近在震前11天曾发生有感前震一次）。这个大地震发生在高耸的贺兰山和下沉的银川地堑交界地带。银川地堑形成于第三纪和第四纪。根据钻探资料，在地堑北部平罗地区第三系沉积物厚达1749m，第四系厚1605m，中部的银川地区第三系沉积物厚1701m，第四系厚达1009m，南部的吴忠第三系厚1093m，第四系厚达143m。这说明银川地堑和贺兰山之间的垂直差异运动是非常强烈的，其剖面如图1.3所示。

有趣的是贺兰山西坡比较缓，东边比较陡，而大地震正好发生在陡的这一边，缓的那一边长期以来地震则很弱。

2. 渭河谷地震带

这个地震带的垂直差异运动很强烈。其南侧的秦岭隆起很高，而渭河地堑却下沉很深，盆地南缘秦岭

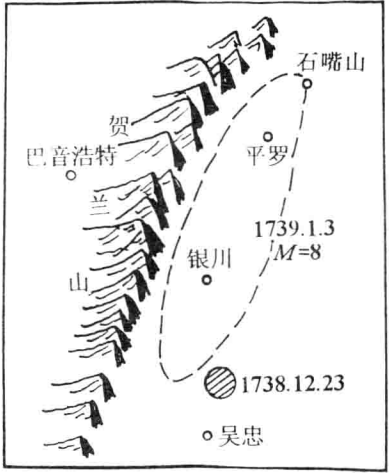


图1.2 1939年银川平罗大震的Ⅸ度区范围图

北侧大断裂是一条北倾的高角度正断层。据钻探资料，第四系沉积达 1000 余 m。在这里曾经发生过 1556 年 1 月 23 日的关中大震，死人 83 万。极震区位置如图 1.4 中的虚线处椭圆所示。有趣的是秦岭的北坡陡，南坡缓，而正好陡的这一边发生大震，比较缓的那一边未发生大震。

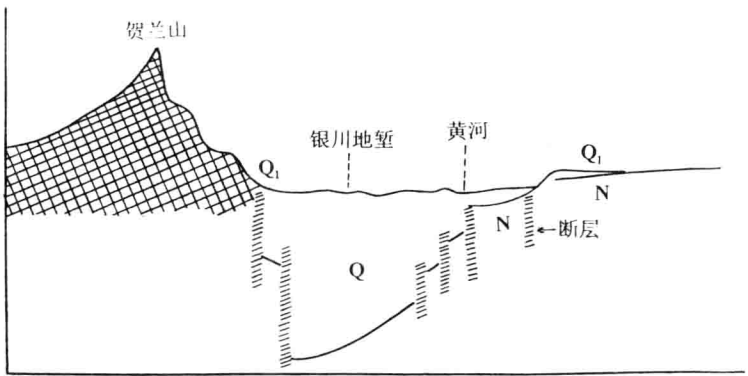


图 1.3 银川地堑梯状断陷示意剖面图

3. 河西走廊地震带

河西地震带位于祁连山山前断陷带内，南北两侧均为深大断裂所限，近代祁连山强烈上升，而盆地则大幅度下陷，第四系沉积物厚度最大达 1100m，由于不同走向构造增加，盆地

内可划分出次一级的小盆地。它是一条比较活跃的一条地震带，历史上曾发生过 7 级以上的大震有：1609 年 7 月 11 日红崖清水堡大震（7 级）、1927 年 5 月 23 日古浪大地震（8 级）、1932 年 12 月 25 日昌马大震（7.5 级）和 1954 年 2 月 11 日山丹大震（7 $\frac{1}{4}$ 级）^①。1609 年大震位于沉降较深的酒泉东盆地与隆起的祁连山交界带上；1927 年大震位于武威盆地和祁连山交界地带；1932 年大震位于昌马盆地—二道川谷地与隆起较高的照壁山交界带上；1954 年大震位于龙首山与潮水盆地交界带上，如图 1.5 所示。该图上张掖和民乐所在的盆地（一般称民乐盆地）具有同样强烈的现代差异运动，但从有历史记载以来还未发生过 7 级以上大震。因之今后可能发生大震。

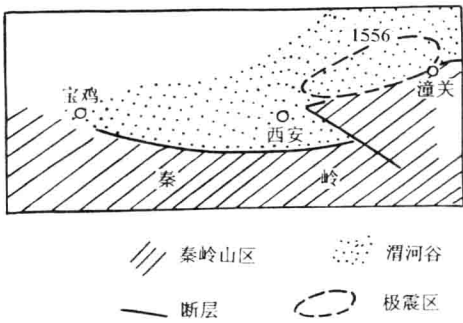


图 1.4 秦岭与渭河地堑间的垂直差异运动

4. 山东郯莒地震带

根据文献^[2]的研究，这儿并无强烈的地形对照性的和深陷的盆地。但果尔什可夫从水系研究指出沭河和沂河并不直接流入黄海，而是拐了一个弯才入海的，如图 1.6，在莒州到郯

① 180 年秋酒泉地震震级虽达 7 $\frac{1}{2}$ 级，但位置不具体，故未列入讨论。

城一线的东侧可能有新产生的强烈隆起，它相对于沱河和沂河谷地来讲是一个垂直差异运动。在这里曾发生过 1668 年 7 月 25 日的郯城莒县 $8\frac{1}{2}$ 级大震。

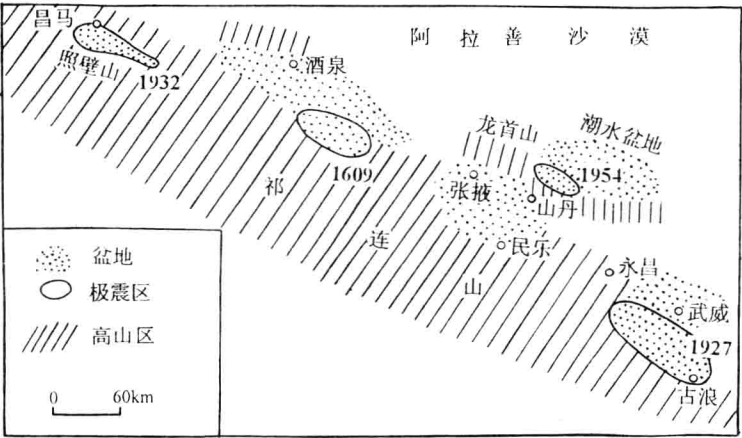


图1.5 河西地区盆地与高山交界处的大震

5. 云南洱海地震区

在云南，强烈的现代差异运动地区可以洱海为例。在这里，洱海属于下降较深的低地，而滨海的点苍山却隆起甚高。垂直差异运动速度最大达 10mm/a。正是在这种构造条件下，于 1925 年 3 月 16 日发生了 7 级地震。如图 1.7 所示。

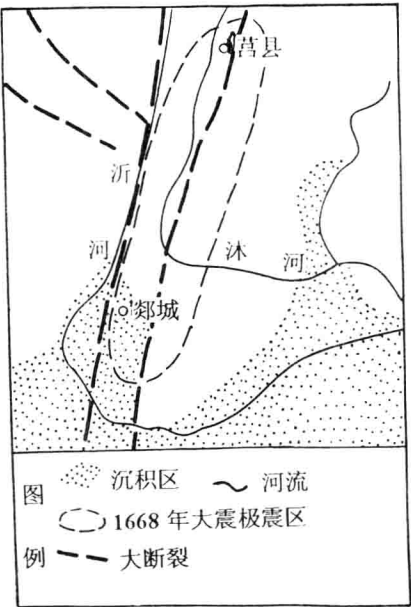


图1.6 1668 年郯城莒县大震与河流显示的现代隆起

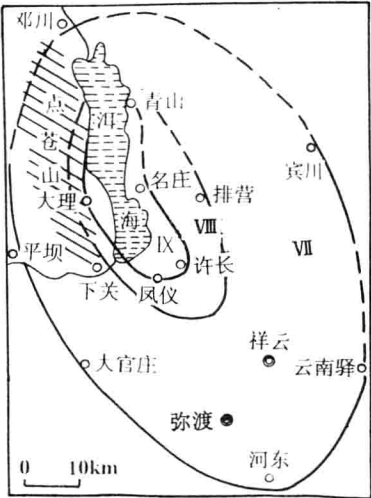


图1.7 1925 年大理地震等震线图

6. 汾河地堑带

整个山西省是个抬升的高地。然而在山西高地中部，却有一个汾河地堑构造，如图1.8所示。这种地堑谷地与相邻的高地形成强烈的现代差异运动。而正是在这些地区历史上曾发生过大地震。如公元1303年9月17日洪洞8级地震和1695年5月18日临汾8级地震（后降为 $7\frac{1}{2}$ 级）。另外还有若干个6级以上地震。

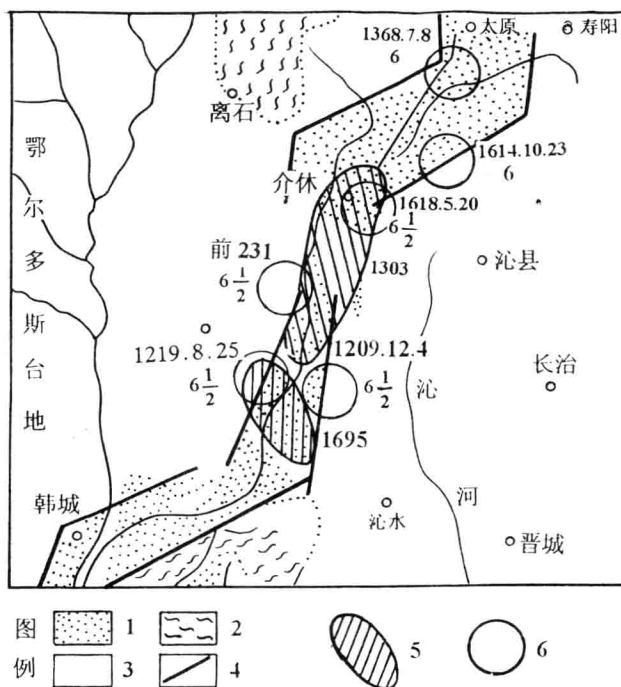


图1.8 汾河地堑差异运动带与大震分布

1. 下沉带；2. 隆起带；3. 基岩露头区域；4. 断裂；5. 8级以上大震；6. 6级以上大震

7. 海南岛地震带

在雷州半岛和海南岛之间有一个近东西向的琼州地堑，差异运动强烈，在这里曾于1605年7月13日发生过 $7\frac{1}{2}$ 级地震。

通过以上的实例和理论分析论证，说明我国大震的发生的确与强烈的现代差异运动（或称差异运动）有一定关系。这种关系归纳起来有以下几点：

1) 普遍性 在我国不同地区都可找到大震发生于垂直差异运动带的例子。即使不全如此，也具有相当大的比例。

2) 差异幅度 在差异运动幅度较大的地方，地震亦较强烈。

根据以上诸点，在50年代我国和苏联地震学者的观点认为：中国大震是垂直力造成的结果。1957年编制的中国第一代地震烈度区划图就是按照地震统计资料 and 这个垂直运动观点画出的。垂直运动的更深部力源是软流圈中物质和块体的重力分异、物理化学分异和相变过程。虽然上述观点无论从道理上和事实上在当时都有相当大的说服力，但是还是有以下可

质疑的地方：

①在我国有一定数量的大地震，其发生地区的现代差异运动并不是很明显。即使有，但幅度不大，它与地震的强度不相称。

②地质上所说的新构造运动是以万年为单位的时间尺度，而所对比的地震却是以百年为单位的时间尺度，因之人们不禁要问：决定现代地震活动的构造运动是否就和地质上所阐明的情况一样呢？即在我国决定现代地震活动的构造运动是否只是垂直运动呢？是否还有更强大的水平运动在起作用呢？当然我国地质工作者如李四光先生早就主张以水平运动为主，但那是地质史上的情况，至于现今决定地震发生的构造运动是否以水平为主，他并未给出证明。

第三节 强烈的现代水平运动的发现

上面已经指出，在 20 世纪 50 年代和 60 年代初期，在我国地震力源问题上具有统治地位的是强烈的现代分异运动的观点，即垂直力源的观点。在此同时，郭增建和姜秀娥根据我国本世纪以来 48 个 6~8.5 级大地震的震源机制资料得出了一个新的结论^[6]，即我国现代大地构造运动是以水平运动为主的，而且是平推错动占优势的。其主要论点如下。

1) 震源机制资料不仅是研究地震学问题的一个重要依据，而且对研究大地构造运动也有重要意义。通过对某一地区震源机制资料的统计研究，可以了解该地区现代构造运动的特征，知道了这个特征，反过来对了解该地区未来地震的发生情况是有帮助的。由于地震波观测资料可直接反映地下深处的现代构造运动情况，它不仅能够研究大震和小震，而且还能研究近震和远震。另外，人烟稀少地区和海域发生的地震也可用它来研究机制情况。

2) 地震是现代地质构造运动的表现，地震愈大，则与现代地质构造运动的总方式关系愈密切。对于一个 6 级地震来说，它所放出的弹性波能量约 $10^{10} \sim 10^{11}$ J，至于震源地方放出这样大的能量所相应的震源体积约等于直径为 10~20km 的球体。若震级为 7 级，则岩石的破坏体积等于直径为 50km 的球体。若震级为 8 级，则岩石破坏体积就更大了。既然 6 级以上的大地震相应的有如此巨大区域内的岩体变动，所以认为 6 级以上的地震是与较大范围内构造运动的总形式密切相关的。或者说 6 级以上地震的震源机制资料，即震源地方断层的产状以及断层盘岩体的运动方向就可在很大程度上反映现代大地构造运动的方向。虽然局部的地质因素也对大地震的震源机制情况有所影响，但是大范围内大量震源机制资料的统计，仍能把现代大地构造运动的总体特征表现出来。

3) 虽然当时震源力学模型究竟是“单力偶”还是“双力偶”尚未肯定下来（见图 1.9）。但无论如何这两个力学模型的两个 P 波方向是共同的，因之两个可能的错动方向也是共同的。另外断层是正断层、逆断层还是平推断层，其两者的结果是共同的。因之由 P 波初动资料得到的 P 波节面以及相应求的断层面解可用来讨论现代构造运动的形式和方向。如果震源地方两个可能的错动方向其与水平面之间的夹角小于 45° ，则认为震源地方真实的岩体错动方向是偏近于水平的；如果一个大于 45° ，另一个小于 45° ，则问题得不到肯定结论。据此对中国境内各地震震源地方的岩体错动方向作了统计（郭增建、姜秀娥，1963），其结果是：在 48 个大地震中，震源地方岩体错动方向偏近于水平方向的有 30 个，难以肯定和情况不明的有 18 个。在这 18 个地震中，只有 9 个地震是已知其两个错动方向的有 30 个，难

以肯定和情况不明的有 18 个。在这 18 个地震中，只有 9 个地震是已知其两个错动方向中有一个的倾角大于 45° ，其余 9 个是属于情况不明的。根据中国 48 个地震机制资料的统计与地质构造资料的对比，得到以下结论：



图1.9 两种震源力学模型

①我国的现代构造运动在更多的情况下是偏近于水平方向的。

②在所处理的 48 个大地震中，绝大多数的震源断层面都是比较陡直的，并且沿断层走向的错动分量一般都比沿断层面倾斜方向的错动量大。

③在寻找地震发生的地质标志时，不仅要注意垂直运动的地质标志，而且还要注意水平运动的地质迹象。现今存在的大断裂带只是地壳中介质强度相对弱的地带，当某一地质时期大范围内总的构造运动以垂直方向为主时，则沿其发生水平为主的错动。

④由于中国西部震源断层走向与山脉的延伸方向大体一致，所以认为：在划分中国西部的地震带时，可以把山脉延伸方向作为重要的依据。

以上就是 1963 年郭增建等首次发现我国现代构造运动以水平运动为主以及当时对地震地质指标所得到的首次看法。但当时还不知道这个水平运动为主是由地球上什么构造运动引起的。那时板块学说还未问世。

可以说明浅源大震的水平运动为主的证据如下。

一、震源机制资料

1966 年我国开始了强烈的地震活动。如该年 2 月 5 日和 2 月 13 日云南东川发生 6.5 级和 6.2 级地震；3 月 8 日和 3 月 22 日在邢台地区发生 6.8 级和 7.2 级地震；1967 年 3 月 27 日河北河间发生 6.3 级地震；1967 年 7 月 18 日渤海湾发生 7.4 级地震，同年 6 月 26 日广东阳江发生 6.4 级地震；1970 年 1 月 5 日云南通海发生 7.7 级地震。这些只是人烟稠密地区或其附近的地震，另外广大荒芜地区也发生了许多 6 级以上地震。在这种情况下，国家地震局于 1972 年至 1973 年召集全国许多科研单位^① 共同处理我国从 1933 年到 1973 年诸震的震源机制，共收集到有地震仪观测资料的地震 392 个，其中约 200 个得到了 P 波初动解，并首次应用了解析算法求解震源机制参数，得到了 166 个地震的 P 波初动解^②。另外在这些 P 波初动解的基础上，依据我国基式地震仪得到的记录图，用波谱分析方法和一维有限移动源、圆位错等模式确定了 106 个 5 级以上地震的断层走向、倾向、倾角、断层长度、断层破裂传播方

① 这些单位是：地球物理研究所、地质研究所、兰州地震大队、广州地震大队、成都地震大队、昆明地震大队、河北地震大队、宁夏地震大队、北京地震队和地震地质大队。

② 这项工作由宋慧珍等人员完成。

向、传播速度、地震矩、错动幅度和应力降等震源参数并对有关问题进行了研究。其得到的结论是：

1) 再次证实我国绝大多数较大地震，其错动的水平分量大于垂直分量。与此相应的是主压应力和主张应力方向也是水平分量大于垂直分量。

2) 再次证明了大范围大量震源机制资料的统计，能把现代大地构造运动的总特征表现出来的论断。例如在华北地区，1963年文献[6]只处理了1937年8月1日菏泽两次大震的震源机制资料，其两个可能的断层走向一个是北东向，一个是北西向。而1972年处理的邢台大震、渤海大震和河间地震的两个可能的断层面走向也与菏泽地震的一致。

3) 再次论证了6级以上大震的震源机制与现代构造运动的总形式有关。1972年震源机制会战资料中曾发现邢台地区的某些余震的机制有特异性，但6级以上地震却是类似的。

二、大地测量资料

在国外，例如日本、苏联和美国早就用大地测量资料研究了现代构造运动。然而在我国，这项工作主要是在1966年3月邢台大地震后才开展起来的。这项工作虽然开展时间不长，但已对我国的震源错动特征有所揭示和验证。下面举邢台大震和唐山大震两个例子来说明。

1) 1966年邢台大地测量资料的对比 根据国家地震局大地测量队的观测研究^[7]，1966年邢台大震后的地壳位移图案如图1.10所示。该文作者指出，这个图所示形变主要是1966年3月8日和3月22日邢台6.8级地震造成的。它们的总后果是以右旋水平错动为主。同时在断层东侧产生大幅度下沉，而在断层西侧上升很小，显示出平推—正断层活动性质。陈运泰等对邢台大震的地形变资料也进行过研究^[8]，他们指出：邢台大震的断裂走向大致为 $N40^{\circ}E$ ；

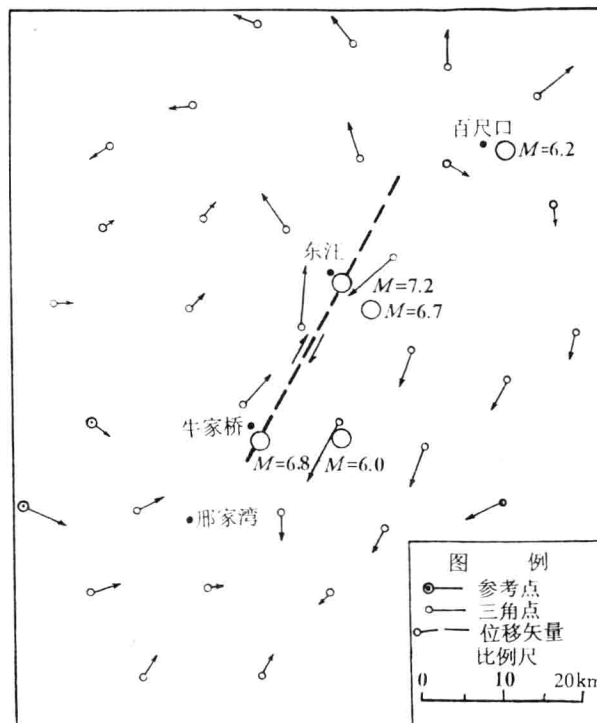


图1.10 邢台地震引起的地面水平形变