

287

1966 — 1976年

中国九大地震

马宗晋 傅征祥 张郢珍 汪成民 张国民 刘德富 著

地震出版社

1966—1976年

中国九大地震

马宗晋 傅征祥 张郢珍 著
汪成民 张国民 刘德富

地震出版社

1982

内 容 提 要

本书对1966—1976年间中国大陆华北和川滇地区发生的九次（邢台、渤海、通海、炉霍、永善、海城、龙陵、唐山、松潘）7级以上的大地震进行了综合研究和初步总结。书中介绍了九大地震的震源参数和地壳构造环境等基本资料，着重对比分析了九大地震前区域地震活动、地壳形变、地下水（和水化学）、地电、重力、地磁和大气中的异常现象，归纳出它们的共性和差异。在研究陆壳构造变动的基础上，探讨了陆壳内地震震源的构造分类、地震场和地震幕等概念。书中还回顾了1966年以来我国地震预报工作开展的过程，提出了地震预报工作的初步设想。

1966—1976年

中国九大地震

马宗晋 傅征祥 张郢珍 著
汪成民 张国民 刘德富

地质出版社出版

北京复兴路63号

北京印刷三厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092 1/16 14印张 344千字

1982年5月第一版 1982年5月第一次印刷

印数：0001—6,000

统一书号：13180·155

定价：1.80元

序 言

水灾、地震和风灾是当今世界上三大自然灾害。其中，人类对地震发生过程的认识最为肤浅。随着人口高度集中和经济迅速发展，地震预报的社会要求正日趋迫切。

中国大陆地震区位于亚欧大陆地震系的东段，受印度洋板块的碰撞和西太平洋板块俯冲的影响，它是世界大陆内一个最宽广的浅源强震活动区。本世纪以来大约平均每三年发生两次7级以上地震，而两次大震中几乎就有一次酿成重灾。1966年至1976年，中国几乎接连不断地经受了地震的震荡。其中，九次7级以上的强震（即邢台——1966年，7.2级；渤海——1969年，7.4级；通海——1970年，7.7级；炉霍——1973年，7.9级；永善——1974年，7.1级；海城——1975年，7.3级；龙陵——1976年，7.4级；唐山——1976年，7.8级和松潘——1976年，7.2级）发生在东经 98° 以东的人口稠密地区，造成的伤亡和损失更为严重。据统计共死亡近三十万人。震灾引起党、政府和人民的极大关切，时不我待，要求地震科学工作者迅速开展地震预报工作。

当时，我国地震科学比较落后，地震预报学科的基础更为薄弱，但强震却频频发生，这种状况迫使我们从现场调查入手，多种学科协同作战，各种观测手段齐头并进，以求广泛探索预报地震的方法，并尽快投入预报实践。这样做，使我们很快地获得了大量资料，开辟了众多的前兆研究领域和进行地震预报实践的尝试。但这样的做法，也不免带来某些仓促上阵之弊。在那些年里，我们偏重于地震异常表面现象的描述，归纳与地震有关的事件，往往以经验性和统计性认识，处理各种紧急震情。虽然根据中国大陆地震的特点，也提出了某些理论性的设想和探讨，但未能进行深入的论证，对学科的基础研究也有所忽视。今天，在探索地震预报的道路上匆忙地走过了一段路程之后，回顾这段曲折多难的历史，人们既不会忘记取得海城地震预报初步成功的经验，也不会忘记唐山地震预报失败的沉痛教训。所以，总结这些经验和教训，整理已积累的大量资料，分析研究工作中存在的问题，迅速充实相应的理论研究领域，以提高地震预报水平，这已势在必行。但是，这将需要一个细致而较长的工作过程。

为了推动这项工作，我们根据几年来的主要工作成果编写了这本书。书中将尽可能客观地记述这段历史的发展过程，力求科学地整理和理解某些较有价值的资料，列出某些目前尚难解释但可能有一定价值的现象，提出需要进一步研究的重要课题。由于对九大地震的详情已各有专述或总结报告，所以本书除了提取各次地震的主要个性特征外，着重对它们的共性特征进行归纳和分类，并对地震预报的某些理论问题和预报工作的原则及方法进行初步的讨论。

全书共分十四章。第一章将回顾九大地震所带动的预报工作的开展历史，以及地震预报科学问题与概念的提出；第二章至第八章，依次介绍有关九大地震的基本参数，地震的构造环境，地震活动图象，地球物理场的变异，地形变和地应力变化，地下流体的异常动态，大气中的异常征象等；第九章分析大区域的地震异常现象；第十章对上述异常时空变化特征进行综合归纳和对比研究；第十一章讨论有关构造地震震源问题；第十二和十三章讨论地震场

和地震幕等问题；最后第十四章总结我们对中国大陆地震的基本认识和地震预报的设想。

在这十几年的地震预报研究工作中，我国科学工作者遵照周恩来总理关于“中国古代留下很多震害的记载，但缺少经验，希望你们能总结出经验，希望你们这一代能够解决这个问题”的指示，针对九大地震开展了大量的研究工作。本书的基本资料取自全国整个地震工作系统和有关部门，并吸取了国内外某些研究结果。各章执笔人如下：第一章马宗晋、第二章傅征祥、第三章马宗晋、第四章傅征祥、第五章张国民、第六章张郢珍、第七章汪成民、第八章刘德富、第九章汪成民、张郢珍、第十章张国民、傅征祥、第十一章傅征祥、第十二章张郢珍、第十三章马宗晋、第十四章马宗晋、汪成民。马宗晋担任全书主编，傅征祥、张郢珍负责全书编辑工作。

限于水平，书中缺点错误在所难免，敬希读者批评指正。

目 录

第一章 绪论——地震预报工作历史和预报研究课题.....	(1)
第二章 地震序列特征	(6)
第一节 九大地震基本参数.....	(7)
第二节 余震活动序列特征.....	(11)
第三章 地震的构造环境.....	(23)
第一节 华北地壳分层及其构造变形.....	(23)
第二节 华北地震区区域构造特征.....	(25)
第三节 华北四次强震震区构造.....	(29)
第四节 西南川滇地震区区域构造特征.....	(32)
第五节 川滇五次强震震区构造.....	(36)
第四章 地震活动图象	(40)
第一节 区域地震活动频度 (N) 和能量 (E)	(41)
第二节 区域地震活动空间分布.....	(44)
第三节 前震和震群.....	(51)
第四节 波速异常和波谱.....	(53)
第五章 地球物理场异常变化	(57)
第一节 地壳浅部视电阻率变化.....	(57)
第二节 地壳深部介质的电性变化.....	(62)
第三节 重力变化.....	(65)
第四节 地磁场变化.....	(70)
第六章 地壳形变和地应力异常变化	(76)
第一节 大地测量.....	(76)

第二节	跨断层测量、倾斜及海平面观测	(88)
第三节	利用地壳形变资料反演震源参数	(90)
第四节	断层蠕动	(91)
第五节	地应力异常变化	(95)
第七章 地下水 (气) 异常变化		(98)
第一节	大震前后地下水 (气) 异常变化过程	(98)
第二节	大震前地下水 (气) 短临异常变化过程	(106)
第三节	讨论	(115)
第八章 大震前大气中的异常征象		(117)
第一节	大气压力变化	(117)
第二节	大气降水变化	(119)
第三节	物理气象变化	(121)
第四节	动物行为异常	(126)
第九章 大区域异常现象		(128)
第一节	地震活动的大区域联系	(128)
第二节	大区域的微观和宏观异常现象	(131)
第十章 大地震前后异常现象时空变化的综合分析		(139)
第一节	异常现象时间过程的综合分析	(139)
第二节	异常变化空间分布的共性	(149)
第三节	异常变化共性的力学分析	(152)
第四节	异常现象时空分布的差异性	(155)
第十一章 构造地震震源		(158)
第一节	构造地震震源	(158)
第二节	震源断面“闭锁”和应力分布	(162)
第三节	震源断面“解锁”条件	(166)
第四节	震源断面“解锁”方式及后效	(168)
第五节	地震震源分类	(169)
第六节	地震能源	(170)

第十二章	地震场.....	(172)
第一节	地震场的概念	(172)
第二节	华北、西南地区地壳基本应力场的研究方法及其主要结果	(173)
第三节	地壳的力学性质模型及地震场的演化	(175)
第四节	地震场有限元分析结果	(179)
第十三章	地震幕.....	(189)
第一节	地震幕的概念	(189)
第二节	华北地震活动的分幕现象	(190)
第三节	地震幕的普遍性	(198)
第四节	全球地震幕对比及地震幕起因的初步探讨	(202)
第十四章	对中国大陆地震的基本认识及渐进式预报的设想.....	(205)
第一节	对中国大陆地震的基本认识	(205)
第二节	渐进式地震预报方案的设想	(208)

参考文献

第一章 绪 论

——地震预报工作历史和预报研究课题

1949年新中国成立后,因大规模建设的需要,进行了全国地震烈度的预测,即地震的远期预报研究,相应开展了一些地震学和地震地质的观测、调查与研究。1958年在制定全国科学规划时,傅承义教授参与制订开展地震预报研究的规划。从此,地震预报,即地震的近期预报研究,被列入国家规划。但直到1966年邢台地震前,在我国人口稠密地区未曾发生大地震。所以,地震预报的观测与研究开展甚少。邢台地震后,地震预报工作才大量开展起来。下面,我们按九次大地震发生的先后顺序,对各次地震的简况和我国地震预报工作开展的过程等有关问题作概略回顾。并就地震预报的主要科研课题作一概括。

1966年3月的邢台地震发生在人口稠密的华北平原(河北省中部)上,造成八千余人的死亡和大量的经济损失。地震后立即提出如何开展地震预报工作的问题。在周总理提出“深入现场调查,抓住邢台不放”的精神指导下,国家科委迅速组织了中国科学院、地质部、石油部、测绘总局以及有关大专院校等单位大批专业人员去现场调查,并各尽所能地进行现场观测与预报研究的探索。这样,在震中区及其周围随即开展了地震、重力、地磁、地电、地形变、地应力、地下水以及大气中各种异常和生物行为异常等各种项目的观测。同时,也进行了地面地震地质和深部构造探测以及天文等地震环境因素的调查研究。由此我国在地震预报与实践方面进入了以大量前兆观测为基础的新阶段。邢台地震系列有明显的前震活动,第一次强震是6.8级,十四天后再次发生7.2级强震,全序列共包括39次5级以上的地震,强弱活动频繁起伏延续至今。大小地震的空间分布也十分复杂。序列中经常出现密集—平静—发震(较强震或强震)和余震区内地震“两头跳”的现象。序列中的大小地震和大地震前后的地形变化,几乎全部局限在一个近代是强烈断陷的地堑范围之内。深部物探表明,地堑正处在地幔局部隆起的斜坡上方。经调查访问,邢台地震前地下水水位、水色和水质均有异常;家禽、家畜和其它动物行为异常也很显著。此外,地声、地光以及电磁波异常现象也有报导。这些宏观异常现象集中在震前一、二天内出现。总的说来,邢台地震发生在特定的构造环境中,序列特征较复杂,震前观测到大量宏观异常现象。这些特点迫使我们思索在首发6.8级强震之后如何预报14天后续发的7.2级大震?怎样判断这种序列的类型?震前一、二天内出现的宏观异常现象是否能作为临震预报的前兆内容?

邢台地震后,1967年3月在其东北160公里的沧州地区发生6.3级河间地震。北京和天津明显有感。之后,在京津地区布设多种项目的观测台站。因此,在1969年7月渤海地震前取得了一部分观测资料。渤海地震震中在河间东北方约200公里。这样,邢台地震之后三年多的时间内,华北北部连续发生了三次大于6级的强震,其发生地点有逐步向北东方向迁移之势。总结渤海地震特征时发现,震前观测到地震活动、地磁和地电等多种项目出现半年以上到二年的较长时间中期异常变化过程。其中,京津地区小震活动沿着从北京西北的怀来到渤海震中区的北西西—南东东方向分布,小震密集分布呈条带状图象;震时和震后小震条带继续向南东东方向伸展,同时出现与之交叉的北北东向条带。在震前一、二天,天津动物园工

作人员发现包括熊猫、天鹅和牦牛等在内的一、二十种动物行为异常，而且在震前两小时向有关单位作了电话报告。据调查，渤海水域震前也有许多水生动物表现异常，如震中区鱼群的逃散等。渤海地震前观测到的异常变化特点，使地震工作者警惕强震可能继续向北迁移的危险，提出了应加强东北地区南部地震工作的建议。同时，曾在我们思想中酝酿的中期预报观念，得到渤海地震资料的支持，促使我们考虑地震孕育全过程及其阶段划分的问题。开始注意研究地震活动与活动断裂之间的关系，提出北西西向断裂在华北地壳构造变动和地震活动中的重要作用。另外，生物学工作者注意到震前可能出现的高频振动与电流将刺激动物引起异常行为。

渤海地震后，成立了以李四光教授为组长的中央地震工作小组，组建京津地震工作办公室。

1970年初在云南省发生了7.7级通海大地震。川滇地区是我国大陆地震频度最高的地区，六十年代中期该区开始了地震观测研究，曾预测滇南通海地区是一个地震危险区，但无法预知具体的发震时间。当时，该区及周围几百公里的范围内并无前兆观测台站，当然未能取得震前的资料。但据震后调查，临震前地下水位、水质、水色、多种动物及地光等的异常还是很突出的，再次加深了大震前会出现宏观异常的印象。通海地震具有明显的走滑断裂特征，几十公里长的基岩断错现象直接出露地表，显露了地震与活动断裂的直接联系。

通海地震后50天，在它的正北约750公里，四川省大邑发生了6.4级地震。同年12月3日又在大邑正北650公里的宁夏回族自治区西吉县发生5.5级地震。震级虽不高，但由于当地建筑条件很差，仍造成百余人死亡。邢台地震后几年内，华北、华南（1969年7月26日广东省阳江发生6.4级地震）、西南和西北连连地震成灾。因此，促成了地震工作的三件事：第一，成立国家地震局。1971年国务院决定建立一个统一管理地震监视、预报和研究力量的机构。第二，确定地震工作方针、原则和方法。在1972年初召开的全国地震工作会议上，根据周总理的一系列指示，提出了“在党的一元化领导下，以预防为主，专群结合、土洋结合，多兵种联合作战”的工作方针。与此同时，在总结前几年工作和国内外地震预报经验的基础上，针对7级以上大震，正式提出“长期、中期、短期、临震”的试验性预报工作程序的建议，由此进一步推动了关于地震孕育过程的分期和包括实验研究在内的理论研究工作。第三，建立年度全国地震形势会商会制度。鉴于大地震前存在持续一、二年的中期前兆异常，全国地震活动状况一年内时常发生一定的变化，而且不同区域之间的地震活动也往往存在着相关联系，为集思广益讨论全国地震的总形势，协调全国的年度工作安排，在1972年12月山西临汾召开的地震科研会议上，决定建立一年一度的全国地震形势会商会制度，对近一、二年全国地震形势进行估计，确定加强工作的地区。在这次科研讨论会上，报告了地震大形势研究的初步结果，讨论了世界与我国地震活动的对应关系，提出我国已处在地震活动高潮时段段的看法。

1973年2月在四川省炉霍发生7.9级强烈地震。炉霍地震具有一些独特的特征，要求我们去研究新问题。例如，此次地震极震区（烈度Ⅹ度）长轴方向长达40余公里，它与1968年侏倭6.8级地震的Ⅹ度极震区大部分重叠，与1923年虾拉沓7.5级地震的Ⅹ度区紧相衔接。上述事实是并非严格的强震“原地复发”，但打破了“一次强震之后，短期内不会有强震复发”的观念。在我国，这种情况虽不多见，但是在强震原地复发的地区中，值得深入研究地震能量释放和再积累的速度问题。另外，炉霍地震发生在长300余公里的鲜水河断裂带上，震时

造成90公里长的地面裂缝带，震后断裂继续沿震时错动的方向蠕滑。在大陆内部这样一次大的走滑型地震是怎样发动，又是怎样暂时停止运动的呢？陆内地震的动力何在？它与陆缘地震有什么区别？此外，炉震地震前，在震中西南方300公里的康定姑咱观测到水氦大幅度的脉冲式突跳异常变化，这种变化是否表明临震前震区以及与之密切相关的局部构造开始进入失稳状态？

1974年5月在云南省昭通地区永善山区里发生7.1级地震，该区前兆观测台站很少。这次地震没有造成显著的地面构造裂缝，加之震前震后小震排列的方位和等震线延伸的优势方向都是沿北西和北东两个方向，因而震源主破裂面方位的判断遇到困难。此现象为后来提出共轭型震源错动类型提供了依据。

永善地震发生后，人们对华北及渤海周围出现的一些明显的异常现象警惕起来，于是在1974年6月召开了华北及渤海地区地震形势会商会。会上对华北近期是否能再发生强震有两种估计。一种意见认为，从历史地震资料看，华北强震依次发生的时间间隔一般较长，平均每十年发生一次大于6级强震。而1966年以来，不到十年内已发生两次7级和一次6级以上的地震，所以近年不易再有大震；另一种意见认为，强震发生的时间分布是不均匀的，历史上也有强震连发的高潮时段，虽然这种情况很少，却不是没有先例，而且现已观测到一些突出的异常现象，尤其在渤海北部，存在地形变和地震活动等突出的异常现象，所以应当注意再发生强震的可能。经讨论后，会议提出了加强京、津、唐和渤海地区监视工作的建议。国务院批准转发了该项建议，因而加强了包括渤海北部辽宁省在内的地震监视预报工作。据前所述，1969年渤海地震之后，考虑到华北强震可能北迁的危险促进辽宁省的地震观测工作逐步开展起来。1972年开始注意到区域地震活动逐渐增强。1973年在完成区域地震地质调查和发现营口一带有地幔隆起等现象之后，圈定了金县、营口和辽阳等地为地震危险区。1974年已发现金县台的水准观测和辽南的地震活动等均有明显异常；1974年9月份，在现场又检查核实了这些异常并进一步加以肯定；同年十月即开始加强宣传普及地震知识，组建了数千个临时性群众业余观测点；从十一月中开始首先在丹东、岫岩一带观测到多种宏观异常，至十二月中异常更为突出，随即派专业队伍赴丹东一带加强工作；1974年12月22日在辽阳菱莪水库发生百余次小震，最大4.8级，它的发生增强了对辽南可能有较强地震活动的认识。但在1975年1月初召开的年度全国地震形势会商会上，仍只能提出辽南金县—营口—丹东地区较大范围内的危险估计，指不出更具体的地点，而且预计未来地震的震级是6级左右。直到1975年1月底至2月初，大量的宏观异常集中出现在营口、海城地区、特别是从2月1日开始到2月4日清晨，海城地震震中区的小震活动竟达五百余次，最大4.7级。在这样的异常地震形势下，由省政府决定，发出对辽南地区营口、鞍山和金县等地的临震预报，同时直接部署了该区的防震措施。海城地震预报取得初步成功，客观上是由于出现了长、中、短、临等一系列异常现象；主观上是抓紧了监测与防震工作部署。

由于海城地震前观测到较丰富的前兆现象，因而也就提出许多待研究的重要问题。例如，海城地震前观测到丰富的前震活动，那么如何判别前震和一般震群的区别？又如何应用在预报实践中呢？大震前一、二个月内的突发性异常为什么多次起伏，且有向源迁移的现象？宏观和微观的多种突发性异常时空分布一致性，反映怎样的成因机制？震中区地下水、气温、地雾和地光等宏观异常，是否和临震前低空存在强静电场，以及地下可能有大量载热流体的强烈活动有关？此外，震前出现异常的范围远达500公里之外，异常点分布很不均匀，

往往在构造网络结点上成丛分布，这又怎样去理解？

1976年5月29日云南省龙陵县先后发生了7.3和7.4级强烈地震。震前几十分钟内有几次前震，最大达5.2级，据此，当地作了临震预报。但我们对龙陵地区地震危险程度的估计一直是不高的，其原因在于，那里历史上无强震，附近的腾冲地区只是6级水平的震群区。从地质上看，龙陵地震所在的区域处于较完整的花岗岩体上，一般认为在这样的地区不易发生强震。另一方面，由于滇东地区台站多，观测到较多异常，而龙陵地区台站少，出现异常的总量不如滇东，因而震前有些人强调了滇东发生地震的危险性。这次地震发生在花岗岩体内部，在中国大陆内部7级以上的强震震例中确实很少见，是否有它特殊的蕴震条件？并且龙陵地震序列显示出强震群的特点，其中每次强震几乎都产生双极震区现象，这又反映怎样的蕴震和发震构造特征？

1976年7月28日唐山7.8级地震，造成24万余人死亡，这是本世纪来伤亡最大的一次地震。1976年初召开的年度地震会商会上，曾估计唐山—辽西地区有发生5—6级地震可能，并建议加强该区的工作。5—6月间河北省地震局曾派出唐山地震工作小组赴唐山调查，而且有几位同志就在唐山大震中遇难。但为什么未能像海城地震那样作出临震预报呢？这是因为，总的说，我们对地震规律的认识能力还很差。在工作上，我们认为可能还有以下几点重要原因：第一，对基本形势估计的错误。1975年海城7.3级地震后，在海城周围几百公里的范围内，近年内还会有7级以上强震发生吗？虽少数人据地震活动和气象异常，认为有大震背景，但多数人抱有怀疑。所以，虽然看到唐山—辽西一带存在异常，也只作为有5—6级地震的背景区加以注意。第二，4月6日在唐山市以西530公里的内蒙古自治区的和林格尔，发生6.3级地震，震后京津地区原有一部分异常现象消失，同时，天津西南大城4月22日还发生4.4级地震，相当多的人认为这些异常和这两次地震发生有关。第三，地震前几十天至几天，震中区及其周围没有获得大量的突发性异常的报告，也无前震，因此，未预计到地震会来得那么快、那么大。第四，京津唐地区的地震预报的发布，不可避免地要考虑到十分严重的社会影响问题。

唐山地震给我们提出了以下一些尖锐的问题。诸如唐山地震与海城地震的差别是本质性的还是非本质性的？是否存在统一的蕴震模式？是否存在不同的地震类型？唐山、海城相距350公里，发震时间相隔18个月，前兆异常区相互重叠，两者是分别蕴育，还是同时蕴育？如何判断连发强震的前兆异常？另外，唐山地表仅有小规模断裂，新构造差异运动并不突出，历史记录表明未发生过7级以上的强震，所以烈度区划预测为Ⅵ度区。唐山发生7.8级地震打破了上述这些烈度区划的原则与观念，如同海城和龙陵地震一样，又应以怎样的原则可以事先判断它将是一个高烈度的强震区呢？

海城地震预报初获成功后，人们对地震预报抱有乐观情绪，而唐山地震预报失败，使我们清醒地看到地震发生前异常表现的多样性与复杂性，决不是某一种蕴震模式所能说明的，促使我们去归纳多种组合的前兆特征，探讨不同的地震类型，以及从实际资料入手研究蕴震的模式。

1976年8月16日四川省松潘平武之间发生了7.2级地震。它的预报过程与海城地震前有些类似，也经历了四、五年逐步工作和认识的过程。1976年1月全国的地震会商会上肯定了川、青、甘三省交界地区的地震危险性，特别指出松潘、茂汶一带有发生6或6级以上地震的可能。3月初大邑、邛崃、茂汶等地出现了一些突跳性宏观异常，6月中旬大邑地区异

常更为突出，于是发出了近一、二月内龙门山中南段有可能发生6级左右地震的预报。至7月中旬并无强震发生，只有3.7级的小震活动，宏观异常也平息下去了。7月下旬宏观异常第二次增多，之后也无大震发生。8月上旬宏观异常出现第三次高潮，而且出现异常的地点明显迁移到北川、江油一带。省防震抗震指挥部和省地震局立即紧急电告有关地、市、州和县，自12日起进入临震戒备状态，做好抢险救灾的一切准备工作。结果8月16日发生了松潘7.2级地震。松潘地震前短期和临震的各种异常表现，以宏观异常最为突出，它们在二、三个月内出现三次高潮，那么如何确定震前的最后一次高潮？出现宏观异常高潮的地点又不断转移，如何判定真正发震的地点？这都是临震预报中亟待解决的难题。

松潘地震距今已经五年了，中国大陆东部没有再发生大于7级的地震，这是否表明从1966—1976年7级强震接连发生的一个地震幕已经结束？随之而来的问题就是如何判断一个地震幕的开始和结束。

在强震活动基本平静的这几年时间内，我们有可能对许多观测项目的正常变化有所认识，这对进一步判定震例总结中所认识的各种前兆异常，是很有益处的。

从上所述，可以了解到九次大震是怎样把我们对地震的认识和预报的实践逐步引向深入的。为了进一步提高地震预报这门学科的水平，我们认为需要研究如下由九大地震启示的一些重要问题：（1）地震前兆异常变化的形态和空间分布特征；（2）蕴震期内异常变化过程的阶段划分及成因机制；（3）蕴震区范围的大小和地震场；（4）地震系列的分期和分幕；（5）蕴震物理和地震类型等。并且根据目前对地震过程的认识和实际需要，制定出地震预报工作的初步方案和程序，在实践中加以检验和不断修正完善。本书的其它章节将主要围绕这些问题展开讨论。

第二章 地震序列特征

在1966年至1976年的十一年内，我国境内共发生十五次7级以上的浅源（ $h \leq 70$ 公里）大地震序列（有些序列包含二个7级以上的地震）（表2.1），其中台湾省地区占四次。这些地震的分布和新构造的关系见图2.1（马宗晋等，1980b）。图中的阿拉伯数字（1—15）表示表2.1中各次地震序列的编号。

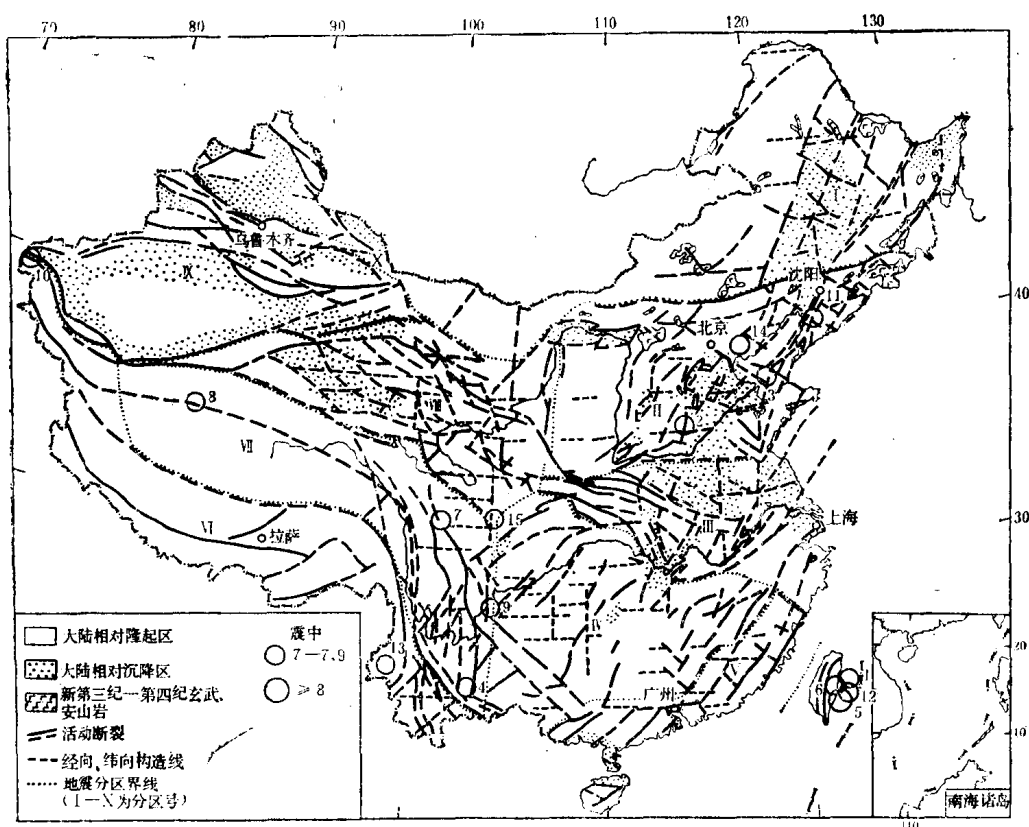


图2.1 中国大陆新构造和近期强震震中分布图

就中国大陆及其沿海地区（除台湾省外）而言，本世纪前七十七年内，共记录到四十五次7级以上的大地震序列。这些大地震的时空分布是不均匀的。图2.2是1900—1976年间大地震（ $M_s \geq 7.0$ ）活动的时空分布、频度和能量变化图。图2.2a是地震活动分布的时空变化图。图中横线表示间隔为十一年的时间分界线。该图表明：（1）本世纪以来，有两个活动频度较高的时段，一是1944—1954年，共发生十三次；二是1966—1976年，发生了十一次（图2.2b）。（2）比较各期地震释放的能量，1966—1976年间虽然能量释放较低，但多发生在人口稠密地区。因此，近十多年来的地震活动，构成中国地震活动显著活跃和重要的一幕，并引起人们严重关切。在这一幕中，九次大震序列集中发生在华北和西南川滇地区。

九大地震序列在表2.1中的编号是2、3、4、7、9、11、13、14和15，为行文方便，本书

表2.1

1966—1976年中国浅源强震($M_s \geq 7.0$)地震目录

编 号	地震日期 (年、月、日)	发震时刻 (北京时间) (时、分、秒)	震 中 位 置		参 考 地 名	震 级	震源深度 (公里)	资 料 来 源
			东 经	北 纬				
1	1966.3.13	00—31—20	122°.6	24°.1	台湾花莲东	7.8	63	国家地震局编, 1977
2	1966.3.22	16—19—46	115°03′	37°32′	河北邢台	7.2	9	"
3	1969.7.18	13—24—49	119°.4	38°.2	渤海	7.4	35	"
4	1970.1.5	01—00—37	102°.7	24°.0	云南通海	7.7	13	"
5①	1972.1.25	10—06—23	122°.4	22°.6	台湾台东东北海中	8		"
②	1972.1.25	11—41—24	122°.1	23°.1	"	7.6		"
6	1972.4.24	17—57—21.8	121°.6	23°.6	台湾大港口西	7.3		"
7	1973.2.6	18—37—08.3	100°.4	31°.5	四川炉霍	7.9	17	"
8	1973.7.14	12—51—21	86°.5	35°.3	西藏玛尼西北	7.3	33	"
9	1974.5.11	03—25—18.3	103°.9	28°.2	云南永善	7.1	14	"
10	1974.8.11	09—13—59.9	73°.8	39°.4	新疆乌恰南	7.3		"
11	1975.2.4	19—36—06	122°48′	40°39′	辽宁海城	7.3	12	"
12	1975.3.23	15—32—04	122°36′	22°58′	台湾新港东海中	7.0	33	"
13①	1976.5.29	20—23—18	98°38′	24°22′	云南龙陵	7.3	20	陈立德等, 1979
②	1976.5.29	22—00—22.5	98°45′	24°33′	"	7.4	20	"
14①	1976.7.28	03—42—53.8	118°.2	39°.6	河北唐山	7.8	16	国家地震局编, 1977
②	1976.7.28	18—45—31.0	118°.7	39°.9	"	7.1		"
15①	1976.8.16	22—06—46	104°06′	32°42′	四川松潘	7.2	15	四川省地震局, 1979
②	1976.8.23	11—30—10	104°08′	32°30′	"	7.2	22	"

简称其为九大地震。

第一节 九大地震基本参数

一、地震参数和震源机制

表2.1已列出九大地震序列中7级以上地震的发震时间、震中位置、深度和震级等基本参数。

表2.2列出九大地震序列中7级以上地震的P波初动震源机制解的参数。表2.2中的节面A代表地震错动面,它是根据宏观调查、大地形变测量、余震区形状和波谱等资料综合判定的。

比较九大地震序列首发强震的机制解,可以发现它们的破裂有如下主要特征:

(1) 除松潘地震外,绝大多数机制解节面A的倾角较大(大于 78°),即断面接近直立;错动力轴 X_A 的方位和破裂面走向之间的夹角都不足 5° ,说明断面上的错动力接近水平。所以,这些地震的错动方式主要表现为在近乎直立断面上的水平错动。

(2) 华北地区的四次地震,显示出北北东—北东向的右旋走滑错动(邢台、渤海和唐山地震),或是与其相对的北西—北北西向的左旋走滑错动(海城地震)。它们都是在北东—南西或近东西方向的区域压力作用下的错动。唐山和海城地震兼有张性正断层的运动分量。西南的四次首发强震(除松潘地震外)的断面错动性质,主要表现为北西西走向破裂面上的走滑运动,兼有压性逆断层运动分量。松潘序列首发强震以逆断层运动为主。以上两点特征和中国大陆现代应力场的研究结果一致(鄢家全等, 1979)。

在表2.3中,我们还收集了由波谱和大地形变测量反演方法获得的首发大震的其它震源参

表2.2

震源机制解

编号	参数类别 地震	节面 A		节面 B		轴 X_A		轴 Y_B		轴 P		轴 T		轴 N		节面 A 的 运动性质	资 料 来 源
		走向	倾向	走向	倾向	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角	方位	仰角		
2	邢台地震	11°	SE	85°	282°	SW	86°	192°	4°	101°	5°	56°	1°	147°	6°	84°	国家地震局震源机制 研究小组, 1973
3	渤海地震	20°	SE	80°	292°	SW	75°	202°	15°	109°	10°	246°	4°	155°	18°	71°	同上
4	通海地震	306°	SW	87°	217°	NW	83°	307°	7°	216°	3°	351°	3°	261°	7°	83°	阎荣举等, 1977
7	炉霍地震	119°	SW	89°	209°	SE	80°	119°	10°	209°	1°	74°	7°	164°	8°	80°	国家地震局震源机制 研究小组, 1973
9	永善地震	320°	NE	80°	46°	NW	85°	316°	7°	46°	12°	92°	3°	2°	11°	79°	蜀水, 1976
11	海城地震	290°	NE	81°	23°	SE	75°	112°	15°	20°	9°	66°	17.5°	157°	4°	72.5°	顾浩鼎等, 1976
13	龙陵地震① ②	101° 14°	NE SE	78° 45°	14° 79°	SE NW	72° 67°	104° 349°	18° 23°	11° 104°	12° 45°	148° 141°	3° 12°	56° 35°	21° 51°	68° 36°	陈立德等, 1979 同上
14	唐山地震① ②	41° 25.6°	SE SE	85° 61.4°	309° 100.3°	NE	70° 64.3°	39° 190.3°	20° 25.8°	130° 296.6°	6° 28.6°	86° 242°	18° 40.3°	346.5° 333.5°	10° 1.8°	69° 49.7°	邱群, 1976 张之立等, 1980
15	松潘地震① ②	0° 325°	W SW	63° 76°	299° 49°	NE SE	46° 65°	29° 139°	44° 25°	270° 235°	27° 14°	63° 95°	10° 7°	319° 189°	54° 28°	34° 6°	四川省地震局, 1979 同上

编号同表2.1。轴 X_A : 节面 A 上的错动力轴, 轴 Y_B : 节面 B 上的错动力轴, 轴 P: 主压应力轴, 轴 T: 主张应力轴, 轴 N: 中等主应力轴

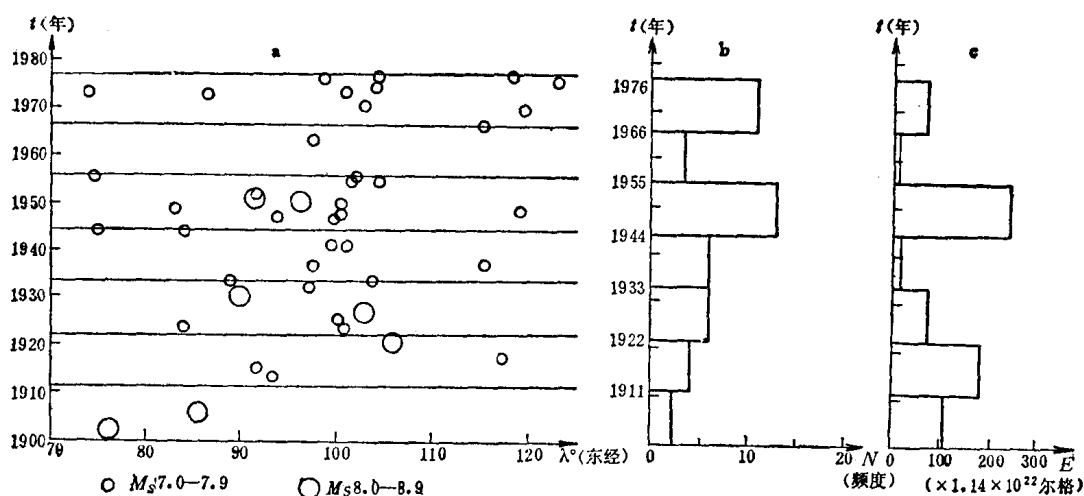


图2.2 1900—1976年中国大陆及其海域地震活动情况

a. $M_s \geq 7.0$ 的时空分布; b. 地震频度; c. 地震能量

数, 包括破裂尺度、错动幅度、应力降、地震矩和破裂速度等。从表 2.3 可以概略地看到, 首发强震的破裂长度、错距和地震矩的数量, 似乎和震级大小有关; 应力降在几十巴范围内变动; 破裂速度在 1—6 公里/秒之间变化。由于这一组参数是由不同方法取得的, 还不宜进行深入的对比分析。

二、等烈度线图

图 2.3 是九大地震的等烈度线图 (国家地震局全国地震烈度区划编图组, 1979)。图中的实线表示实地考察的等烈度线, 点划线表示龙陵和松潘序列中第二个 (续发) 7 级地震的等震线, 虚线表示供参考的推测等震线。

表2.3 大震序列首发7级地震震源参数和等震线

编号	地震	参数类别	破裂长度 L (公里)	破裂宽度 W (公里)	平均错距 U (米)			应力降 $\Delta\sigma$ (巴)	地震矩 M_0 (达因·厘米)	破裂速度 V (公里/秒)	取得资料的方法	资料来源	内圈等震线	
					走向	倾向	总合						形状	长短轴或双轴长度比
2	邢台地震				1.34	0.50		42	5.9×10^{25}		形变资料反演	陈运泰等, 1975	单向	2:1
3	渤海地震		34				0.32	9.7	1.1×10^{26}	3.1	面波波谱	国家地震局震源机制研究小组, 1973		
4	通海地震		52	22	2.24	0.14		34	8.5×10^{26}		形变资料反演	王椿镛等, 1978	单向	10:1
			54.5 (ES)	17.5	1.52	0.60		25	7.8×10^{26}	4.3 (ES)	面波波谱	国家地震局震源机制研究小组, 1973		
7	炉霍地震		120 (NW)		1.71	0.34		24	1.2×10^{27}	5.8 (NW)	面波波谱	同上	单向	8:1
			15 (ES)							2.8 (ES)				
9	永善地震		66				0.07	74	3.1×10^{26}	1.74 (NE)	面波波谱	刘万琴等, 1979	双向	2:1
11	海城地震		54	24	1.17	0.33		22	5.2×10^{26}	1.3 (NW)	体波波谱	林邦慧等, 1979	双向	1.5:1
										1.3 (SE)				
13	龙陵地震		26.2	20			0.46	18.6	0.92×10^{26}	3.4 (SE)	体波波谱	晏凤桐等, 1978	双向	1.5:1
14	唐山地震		84	34	4.59	0.50		29	4.3×10^{27}		形变资料反演	陈运泰等, 1979	单向	2:1
			115	24			1.36	12	1.24×10^{27}	2.7	体波波谱	张之立等, 1980		
15	松潘地震												单向	2:1