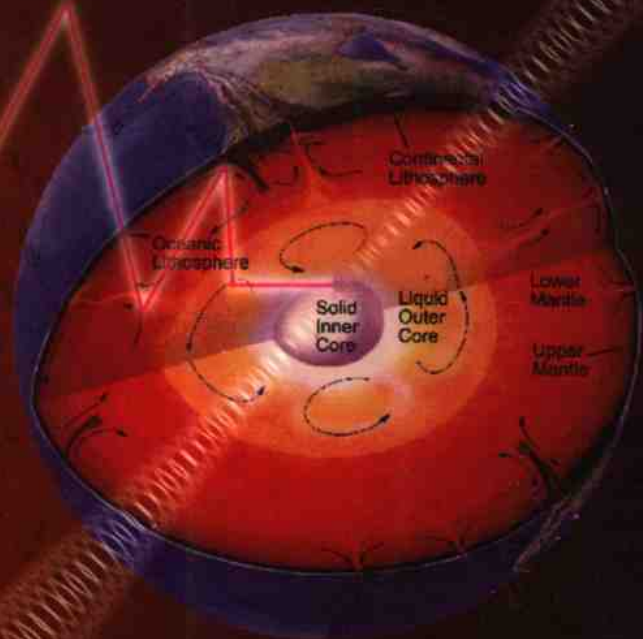




“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书

强地震短期预测综合 预报方法与方案

中国地震局监测预报司



地震出版社

强地震短期预测综合预报方法与方案

中国地震局监测预报司

地震出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

强地震短期预测综合预报方法与方案/中国地震局监测预报司编. 北京:地震出版社, 2006.12

(“十五”中国地震预报科技攻关成果系列丛书)

ISBN 7-5028 3046-4

I. 强... II. 中... III. 大地震—地震短期预报—中国 IV. P315.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 130097 号

地震版 XT200500228

强地震短期预测综合预报方法与方案

中国地震局监测预报司

责任编辑:薛广盈

责任校对:孙铁磊

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:88421706

门市部:68467991

传真:68467991

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:2006年12月第--版 2006年12月第一次印刷

开本:787×1092 1/16

字数:404千字

印张:15.75

印数:001~600

书号:ISBN 7-5028-3046-4/P·1303 (3627)

定价:45.00元

版权所有 翻印必究

(图书出现印装问题,本社负责调换)

丛书编委会

主 任：岳明生

副主任：李 克 车 时

委 员：张晓东 江在森 刘 杰 蒋海昆 刘耀炜 刘桂萍
李永林 黄蔚北

本书编委会

主 编：张晓东

编 委：孙佩卿 苏有锦 杨立明 张永仙 程万正 高国英
付 虹 薛 艳 郭铁栓 黎明晓 余素荣

序 言

地震预报，尤其短时间尺度的预报作为当代自然科学领域里一个难度很大而富有魅力的前沿课题吸引着一代又一代的地震科技工作者为之奋斗不息。其魅力不仅在于地震孕育、发生的许多奥秘有待我们去揭示，更重要的是在于成功的预报可以使许多国人免遭罹难。自从1966年我国正式开展地震预报研究与实践以来，我们既有过不少预报成功的欣慰，也经历了许多遭受挫折的悲痛与沉思。但成功与挫折都给我们以有益的启示，说明地震预报决不是“占星术士”的卜算。在现阶段对某些大地震在震前作出一定程度、乃至较成功的科学预报是有可能的，但要对多数大震作出准确的预报，还需要我们长期坚持不懈、坚韧不拔的努力。在人类历史的长河中，人们对任何复杂事物的认识都有一个从不怎么全面、不怎么深入、不怎么准确到逐渐全面些、深入些的过程。毫无疑问，对认识地震孕育发生过程来说，也是如此。只要认真查阅一下近几个五年计划地震预报攻关研究的成果，必然会得出这样的结论，只要认真研读一下国家“十五”科技攻关项目“强地震短期预测及救灾技术研究”成果，就可以看出，我们的认识又有了新的提升。

“强地震短期预测及救灾技术研究”坚持“研、用”结合的原则，既及时地把研究所得到的新认识应用于地震预报实践，又把预报实践中遇到的新问题、发现的新现象作为攻关研究的重要内容；坚持把普遍性寓于特殊性之中的思想方法，在华北、西南、西北、东南等地区强地震短期前兆特征研究的基础上进行归纳和综合分析，既重视强地震短期前兆的共性表现，又注意不同地质构造之间的差异；坚持在继承基础上的创新，既重视已有研究成果预报经验的应用和常规方法的完善，又立足于创新，通过数值模拟、岩石力学实验和数字化观测资料的应用等，加强强震孕育物理过程和前兆机理及相应的预报新理论、新方法的探索。从而取得了一批既在科学认识上富有新意，又有重要实用价值的研究成果。所编印、出版的这套丛书正是“十五”攻关的这些阶段性成果的集

中体现。它既是广大地震科技工作者集体智慧的结晶，又可将为广大地震科技工作者深入的地震预报研究与实践提供新的借鉴与思考。

这套丛书为“十五”期间地震预报攻关研究阶段性成果的总结，既为我们提供了许多新的认识，也为我们留下和提出许多新的问题。这意味着“十五”预报攻关研究的总结是新的深入研究的开始。面对地震灾害的威胁，广大同行一定会继续以严谨的科学态度，扎扎实实的工作作风，坚韧不拔的精神，立志地震预报理论、技术、方法的创新，在未来地震预报实践中谱写新的篇章，铸造成功预报的新的辉煌，更好地服务于国家、造福于人民。

陈章立

2004年9月1日

目 录

绪 论	(1)
第一章 华北地区强地震短期预测综合方法研究	(5)
1.1 华北地区地震活跃时段和平静时段异常群体特征研究	(5)
1.2 华北地区地震活动区域性特征研究	(16)
1.3 华北地区短期异常综合特征研究	(28)
1.4 首都圈地区地震前短期前兆异常特征研究	(36)
1.5 数字地震资料在首都圈地区地震预测中的应用研究	(43)
1.6 首都圈地区数字化前兆资料评价及应用初步研究	(51)
参考文献	(56)
第二章 西南地区强地震短期预测方法综合研究	(59)
2.1 地震活动区域特征及短期异常综合特征研究	(59)
2.2 前兆异常短期综合特征研究	(71)
2.3 地震短期综合预测研究	(80)
2.4 数字地震资料在地震短期预测中应用研究	(85)
参考文献	(93)
第三章 西北地区地震短期综合预测方法研究	(97)
3.1 祁连山地震带地震短期综合预报方法研究	(97)
3.2 天山地区地震短期综合预报方法研究	(119)
3.3 特殊构造部位地震活动与天山地区地震活动的相关性研究	(124)
3.4 新疆强震成组活动特征及判据	(128)
3.5 天山地区前兆场动态演化及短期异常特征与判据研究	(133)
3.6 显著地震事件的总结	(142)
参考文献	(143)
第四章 中国大陆强震短期综合预测方法研究	(145)
4.1 中国大陆强震震例统计特征研究	(145)

4.2	大陆强震前地震活动图像异常分析及其与震源机制的相关性讨论	(159)
4.3	地震前兆信息量及其短期预测综合方法研究	(174)
4.4	多元统计综合预报方法	(186)
4.5	慢滑移及前驱波短临前兆研究	(194)
4.6	中国大陆第二弧型带对强震的影响	(199)
	参考文献	(206)
第五章	中国大陆强震短期综合预报方案	(211)
5.1	预报思路方案	(211)
5.2	中国大陆 7 级以上地震短期综合预报方案	(213)
5.3	构造片区的短期综合预报方案	(220)
5.4	中国大陆 7 级以上地震短期综合预报方案实例——丽江地震	(233)
5.5	中国大陆 7 级以上地震短期综合预报方案实例——共和地震	(240)
	参考文献	(244)

绪 论^①

国家“十五”科技重点攻关项目采用的是“3+2”的管理模式，即在完成前3年（2001~2003年）国家科技重点攻关项目的基础上，有选择的资助一些有潜力的项目再进行两年（2004~2005年）的研究。本书是“十五”国家科技重点攻关项目“强地震短期预测与救灾技术研究”在“3+2”管理模式下，后两年专题（2004BA601B01-01）研究的成果。

本书研究了华北和首都圈地区、川滇地区、祁连山地震带和新疆地区强震短期异常特征和综合预测方法，分别提出了各区强震短期预测方案；研究了数字地震资料在地震预测中的应用，探索了数字地震前兆观测在地震前的短期异常识别方法；系统研究了中国大陆1966~1999年52组6.5级以上震例，建立了强震震例数据库，给出中国大陆强震前各类异常的统计特征；在华北、西南、西北地震短期预报方案基础上，研究提出了中国大陆地震短期预报方案。主要研究结果可以概括为：

一、对川滇地区地震活动区域特征及短期异常综合特征的系统总结与研究

（1）川滇区域地震活动特征、前兆异常特征及中短期综合异常指标的系统总结，给出了具有明显区域特点的地震活动、前兆异常特征和一些具有较强实用性和操作性的中短期综合异常指标。

（2）在对川滇区域地震活动特征、前兆异常特征及异常指标综合研究，预报构造分区研究的基础上，初步给出了川滇地区时间预测、地点预测和震级预测的综合预报方案。

（3）数字地震资料在地震短期预测中应用研究，采用波谱分析方法处理了川滇地区大量丰富的数字地震记录资料；测定了应力降等震源参数；探讨了地震破裂的物理力学过程以及强震前的前兆信息；研究了用地震波能量测定地震视应力的方法；探讨了各种震源参数间的关系，特别是应力降、视应力、环境应力值的关系，初步认为它们之间是相关的。

二、对西北祁连山、天山地区地震活动区域特征及短期异常综合特征的系统总结与研究

（1）划分了祁连山地震带具有构造物理学基础的三段结构；构建了区域前兆观测网络；在研究地震活动增强、前兆场和形变场状态、群体前兆异常特征和演化、重点前兆异常特征和显著地震事件的异常属性判定等的基础上，提炼、归纳出了祁连山地震带地震短期综合预测方案。

^①张晓东执笔。

(2) 对新疆 7 级、南天山 6 级和北天山 5 级以上地震孕震阶段不同区域地震活动图像演化和强震短期前兆异常综合特征研究, 总结中强地震前兆异常的共性特征与差异, 提出了不同震级短期阶段地震预报方案。

(3) 对新疆地区 6 级以上地震成组活动特征进行了深入系统研究, 总结提炼出了强震成组活动前或活动中异常判据; 利用“前兆异常测项比”研究了天山地区前兆场动态演化及短期异常特征, 刻画了强震远场异常的时间过程; 通过研究天山地震带多个构造单元的地震活动特征及其强弱差异性, 得出了这种差异性对天山地区短期阶段地震活动影响较大的结论。

(4) 开展了祁连山地震带地震活动增强现象的深入研究, 归纳出了增强活动的两种方式及其短期预报指标; 研究了强震前显著地震事件属性的识别和判定, 提出了震前频谱偏移现象; 开展了对武威地电等 6 个重点前兆的解剖研究; 完成了近年来区域内 6 个中强以上地震的科学总结。

(5) 通过短张量反演, 探讨了数字化地震资料在短期阶段的应用; 开展了数字化前兆资料 and 综合异常指数的应用研究; 归纳出了祁连山和天山地震带地震活动的共性特征和差异性。

三、对华北地区地震活动区域特征及短期异常综合特征的系统总结与研究

(1) 分别从华北地区强震活跃时段的判定、华北地区强震短期异常特征和华北地区强震短期综合预测方法, 给出了华北地区的强震短期预测的方案。

(2) 总结首都圈地区的地震活动性短期综合异常特征, 研究了前兆短期综合异常特征, 制定了首都圈地区的地震短期综合预报思路。

(3) 利用环境背景剪应力、地震视应力、波速比和三维虚波速度 4 种方法, 研究了数字地震资料在首都圈地区地震预测中的应用; 利用首都圈地区数字前兆观测资料, 探索了首都圈地区中地震前的前兆短期异常识别方法。

四、对中国大陆地震活动总体特征及短期异常综合特征的系统总结与研究

(1) 研究了中国大陆 1966~1999 年 52 组 6.5 级以上震例, 建立了强震震例数据库, 给出中国大陆强震前各类异常的统计特征, 包括基本分布、相关分布和有关地震活动、前兆异常的统计结果。

(2) 采取一致性的综合前兆异常的地震信息量计算方法, 研究并给出了中国大陆各主要地震区地震短期预测综合方法, 分析了中国大陆以及不同地区不同学科地震综合前兆信息量的映震效能。

(3) 在对大陆强震前 4、5 级以上地震全时空扫描的基础上, 提出了地震活动图像强震前两个阶段异常图像转化进入短期阶段的一种分析预报方法, 在总结各不同构造区域的共性和差异的基础上给出了强震前地震活动的综合异常信息。对强震前地震活动图像和震源机制特征进行统计分析和对比, 并给出不同构造区域地震活动图像和震源机制的相关性分析。给

出了强震前地震条带方向与震源机制节面走向相关的研究结果。

(4) 对重要活动断裂带上的静寂地震(慢滑移)事件和强震前的低频前驱波信号进行了研究,给出慢滑移事件在地震短临预测方面的初步研究结果;研究了强震的调制特征,结合震源机制的研究结果和强震前平静活跃特征,对中国大陆第二弧型带作为地震活动特征的分界带进行了较深入研究。

(5) 在研究结果的基础上,尝试提出以短临前兆为出发点,逆时间过程追踪地震的临短、中、长期异常的中国大陆强震综合预测方案。

本书的出版是专题全部参加人员研究成果的具体体现,也与中国地震局监测预报司、发展财务司等有关司室和有关研究所、中心、省地震局的大力支持密不可分,同时也得到了地震出版社的大力支持,编者在此一并表示衷心的感谢。

由于书中探讨的是科学难度较大的地震预测问题,讨论问题的角度和深度受到一定的限制,编者水平也十分有限,因此,书中的观点和结论肯定存在一些不太完善的方面,甚至一些认识存在错误。我们真诚的希望读者批评指正,为地震科学的发展贡献力量。

第一章 华北地区强地震短期预测综合方法研究^①

华北地区是我国东部的主要地震活动区域,区域内分布着张家口-渤海地震构造带、秦岭-大别山地震构造带、河北平原地震构造带和山西地震构造带等。这一地区经济发达、人口集中,地震资料的历史悠久。我国大规模开展地震预报研究,就是从1966年河北邢台地震以后开始的。本章的重点是研究、分析和总结华北地区、首都圈地区短期地震活动性、地震前兆的综合预报方法。本章还研究了数字地震资料在地震预测中的应用,探索了首都圈地区数字前兆观测在中等地震前的短期异常识别方法。

1.1 华北地区地震活跃时段和平静时段异常群体特征研究

1.1.1 地震资料的完整性分析

根据构造分区的情况和研究的方便,所取的华北地区的研究范围是,北纬 $33^{\circ}\sim 42^{\circ}$,东经 $108^{\circ}\sim 124^{\circ}$ 。

华北地区地震具有成组活动的特点,这里所作的地震活跃时段是指几年尺度的5.5级以上地震成丛活动的现象。为了更好地进行活跃时段和平静时段划分,首先对华北地区5级特别是5.5级以上地震的历史记录完整性进行分析。

1) 华北地区地震资料记载能力分析

从14世纪开始,我国朝廷就设有史官,注意对地震等自然灾害的记载。但真正比较丰富的地震资料记载是从明、清两朝代的地方志盛行后才发展起来的,凡发生在辖区内的地震,志书都有详细记述,对当地有影响的境外地震也当作天诫被记载下来(黄玮琼,1994)。1305年前华北地区的地震记载点主要分布在汾渭地震带上,1500年前的记载点扩展到了燕山一带地区,1556年陕西华县地震后,华北地区有地震记载的地点大量增加。1557年前,地震记载点几乎遍布整个华北地区。按照当时华北地区县与县之间的距离,与地震影响烈度的关系,可以认为,华北地区(除边远地区外)的记载能力,在1303~1500年可记录到6级以上地震,1500年以后可记录到5级以上地震。

2) 华北地区地震序列特征

从图1.1看出,自1290年以来,华北地区5级以上地震记录比较丰富,并显示出相对平静与显著活跃相交替的特点。三个活跃期分别是1290~1366年、1481~1730年、1815年至今。

3) 华北地区历史地震资料完整性分析

对华北地区地震做震级与累积频度关系图,如果 b 值曲线在低震级一端出现“掉头”现象,一般认为“掉头”点是由于地震资料缺失造成的。1481年以来,华北地区4 $\frac{3}{4}$ 级以上地震资料在低震级段没有出现“掉头”现象,说明遗漏不多。因此认为,华北地区4 $\frac{3}{4}$ 级以上

^①主要研究人员:孙佩卿、张永仙、王林瑛、王安东、曹井泉、周翠英、王慧敏、平建军、兰从欣等。

地震资料 1481 年以来基本完整。

利用华北地区地震做震级与累积频度关系, 计算地震年平均发生率, 得到华北地区 6 级以上地震 1484 年以来年平均发生率的理论值为 0.123。计算得到, 第一活跃期 (1290~1366 年) 的 6 级以上地震年平均发生率为 0.074, 第二活跃期 (1481~1730 年) 的 6 级以上地震年平均发生率为 0.106, 第三活跃期 (1815 年至今) 的 6 级以上地震年平均发生率为 0.189。因此, 可以认为 1481 年以来, 华北地区地震基本是完整的。

总之, 借鉴前人的工作和我们的分析, 华北地区 1481 年以来 5 级以上地震是基本完整的。

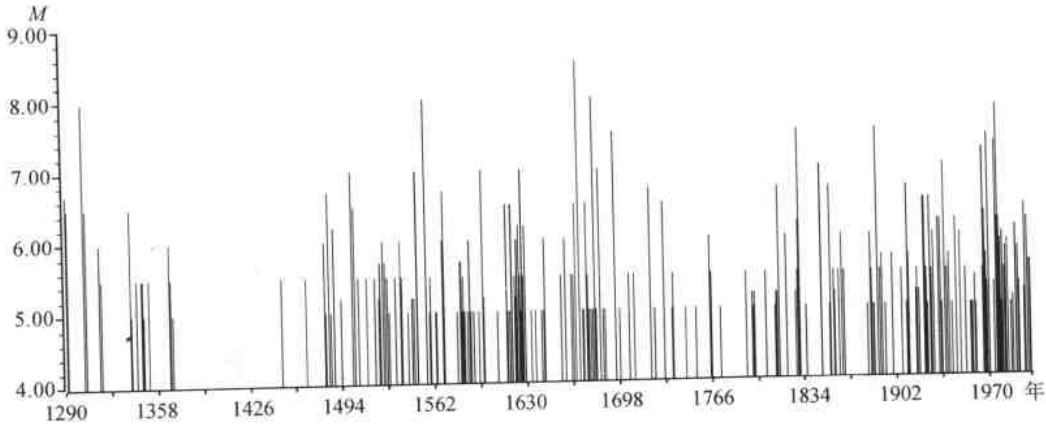


图 1.1 华北地区 $M \geq 5$ 地震 $M-t$ 图

4) 华北地区 1900 年以来地震资料完整性分析

为稳妥起见, 华北地区的研究区域取北纬 $33^{\circ} \sim 42^{\circ}$, 东经 $108^{\circ} \sim 124^{\circ}$, 研究时间段取 1900 年以来, 共选出 5 级以上地震 144 次, 5.5 级以上地震 63 次 (图 1.2)。通过震级与累

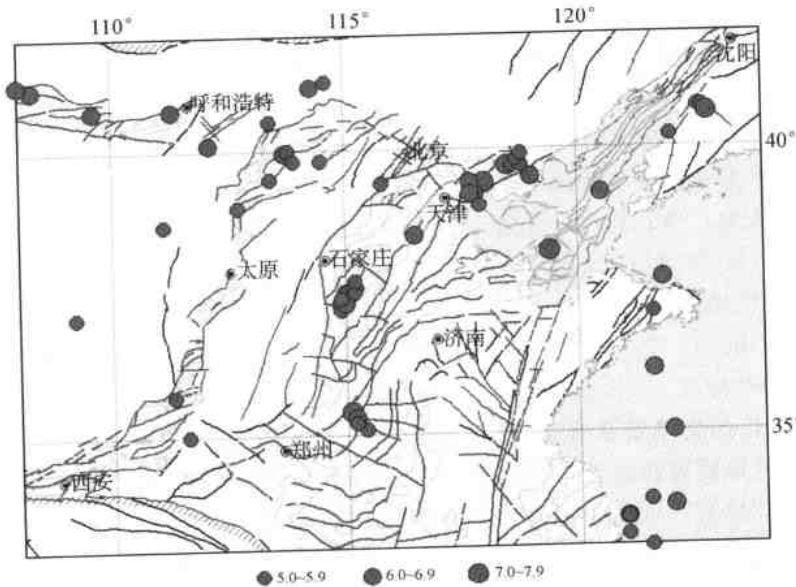


图 1.2 1900 年以来华北地区 5.5 级以上地震分布图

积频度关系（图 1.3）看出， b 值在 5 级一端也没有出现“掉头”现象，认为所选的华北地区 1900 年以来 5 级以上地震是完整的，当然其它证据也证明了这一点。

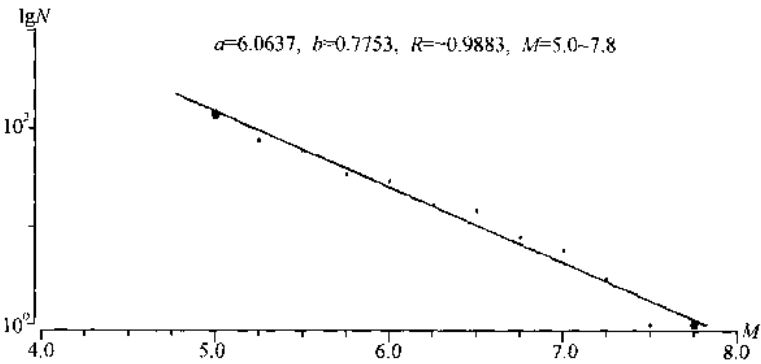


图 1.3 1900 年以来华北地区 5 级以上地震 $\lg N \sim M$ 图

1.1.2 华北地区强震活跃时段与平静时段的划分

大区域地震活动存在时间上的层次性和自相似特征（马宗晋，1987），地震活动在时间层次上可分为：地震世（千年）、地震期（百年）、地震幕（几十年）、地震阶（几年）。华北地区地震具有几年尺度的 5.5 级以上地震成组活动的特点。图 1.4 是所选 5.5 级以上地震的 $M-t$ 图。

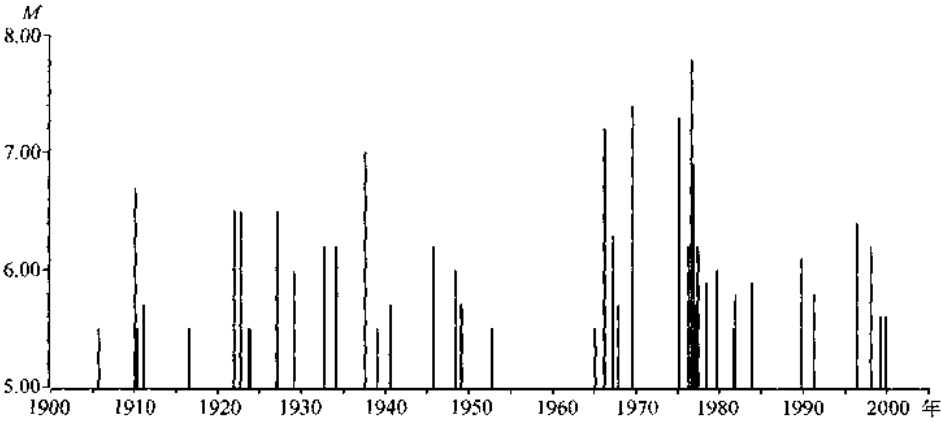


图 1.4 1900 年以来华北地区 5.5 级以上地震 $M-t$ 图

1) 划分强震活跃时段与平静时段的几种方法

对地震活跃时段的划分，前人使用过很多种方法。李志雄等（1991）使用方差分析法对中国大陆 6 级地震进行丛事件活动分析，在一系列观测样本中，找出其中的变化周期，然后外推预测未来丛事件的发生时间和持续时间，其主要目的是用于预测。冯德益等（1987 年）采用从属函数方法，识别新疆地区地震高潮日段和高峰日段。戴英华等（1987 年）使用离差平方和聚类分析方法，研究了华北地区地震活跃幕的划分，该方法的关键是如何提取所选

样本的分类特征, 当时的工作选取了 5 级地震折合频度、应变能、地震能级作为主要分类参量。这些研究结果对我们的研究具有一定的借鉴作用。

2) 华北地区 5.5 级以上地震活动的特点

为划分几年尺度的 5.5 级以上地震活跃时段, 首先对 1900 年以来华北地区相邻的两次 5.5 级以上地震的时间间隔进行统计, 以 100 天为统计单元的结果 (图 1.5) 显示, 在 900~1100 天的时间段内, 间隔比较突出, 期间有一次间隔是特殊的, 时间长度为 973 天, 即 1945 年 9 月 23 日昌黎 6.2 级地震至 1948 年 5 月 23 日渤海 6.0 级地震之间的间隔。但是, 总体来说这一间隔从 900~1100 只有 300 天, 不到 1 年, 因此, 作为地震活跃时段与平静时段的划分标准有些勉强。

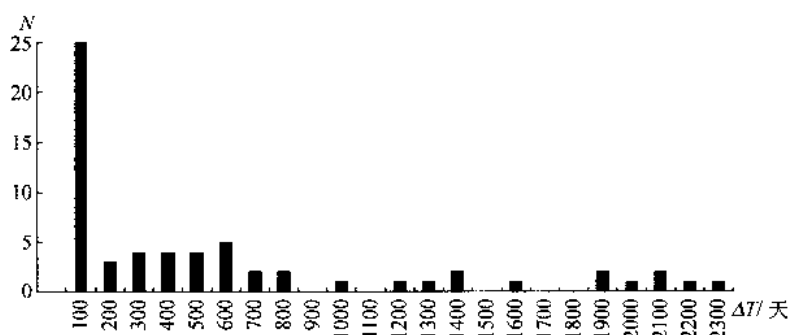


图 1.5 1900 年以来华北地区 5.5 级以上地震

另一个比较突出的间隔是 1500~1800 天, 严格地说, 是 1363 (3.7 年)~1865 天 (5.1 年), 期间也只有一次间隔是特殊的, 时间长度为 1562 天, 即 1905 年 9 月 29 日南黄海 5.5 级地震至 1910 年 1 月 8 日南黄海 6.7 级地震之间的间隔。总体来看, 从 1363~1865 天这一间隔很显著, 长达 502 天 (1.4 年), 可以作为划分地震活跃时段与平静时段的标准。据此, 可以得到华北地区强震活跃时段与平静时段的划分标准。当然, 通过离差平方和聚类分析方法, 也得到了类似的结果。

3) 华北地区强震活跃时段与平静时段的划分标准及结果

通过以上分析, 得到的华北地区 1900 年以来强震活跃时段与平静时段的划分标准为: 以 5.5 级地震为标准, 活跃时段内无震的最大间隔小于 4 年, 平静时段的无震间隔大于 5 年。

根据这一标准, 对华北地区 105 年的地震资料划分了 7 个活跃时段和 8 个平静时段。华北地区地震活跃和平静时段的划分结果 (表 1-1) 显示, 活跃时段占 45.7 年, 包括了 85.4% 的 5 级以上地震和 96.8% 的 5.5 级以上地震; 平静时段占 59.9 年, 只包括 14.6% 的 5 级以上地震和 3.2% 的 5.5 级以上地震。因此, 对华北地区活跃和平静的划分是基本合理的。

表 1-2 显示, 每个活跃时段的平均时间长度为 6.5 年, 年 5 级地震发生率为 2.69 次; 每个平静时段的平均时间长度为 7.5 年, 年 5 级地震发生率为 0.35 次。这一结果客观地反映了华北地区地震活动的特点, 也与普遍理解的华北地区地震平静时段平均每 2.5~3 年发生一次 5 级地震的结果类似。即使在 1952~1964 年长达 12 年的地震平静时段, 华北地区 5 级地震的年发生率也达到 0.57 次。

表 1-1 华北地区地震活跃和平静时段的划分结果

活跃时间段	≥5.5 级地震	≥5 级地震	平静时间段	≥5.5 级地震	≥5 级地震
			1900.1~1909.12	1	3
1910.1~1911.1	3	3			
			1911.2~1921.11	1	3
1921.12~1940.8	15	20			
			1940.9~1945.8	0	1
1945.9~1952.10	5	6			
			1952.11~1964.12	0	7
1965.1~1969.7	11	40			
			1969.8~1975.1	0	1
1975.2~1983.11	19	40			
			1983.12~1989.9	0	2
1989.10~1991.3	4	8			
			1991.4~1996.4	0	3
1996.5~1999.11	4	6			
			1999.12 至今	0	1
平均	61(96.8%)	123(85.4%)	平均	2(3.2%)	21(14.6%)

表 1-2 华北地区地震活跃和平静时段基本参数统计

活跃时间段	时长/a	5 级发震率	b 值	平静时间段	时长/a	5 级发震率	b 值
				1900.1~1909.12	10.0	0.30	1.03
1910.1~1911.1	2.0	1.5	0.31				
				1911.2~1921.11	10.8	0.28	--
1921.12~1940.8	18.7	1.07	0.63				
				1940.9~1945.8	5.1	0.20	--
1945.9~1952.10	7.0	0.86	0.66				
				1952.11~1964.12	12.2	0.57	--
1965.1~1969.7	4.5	8.89	0.56				
				1969.8~1975.1	5.5	0.18	0.93
1975.2~1983.11	8.7	4.60	0.57				
				1983.12~1989.9	5.9	0.34	0.99
1989.10~1991.3	1.3	6.15	0.89				
				1991.4~1996.4	5.1	0.59	0.89
1996.5~1999.11	3.5	1.71	0.58				
				1999.12 至今	5.3	0.19	0.91
平均	6.5	2.69		平均	7.5	0.35	