

DIZHENLIXUE

地震 力学

高福晖 编著

四川科学技术出版社

地震力学

地震临震预测预报物理基础

高福暉 著

四川科学技术出版社

一九九四年六月

F462/15

(川)新登字 004 号

书 名/地震力学

编著者/高福晖

责任编辑:侯硃楠 谢增桓

封面设计:韩健勇

版面设计:宋 强

出 版 四川科学技术出版社

发 行 成都盐道街 3 号 邮编 610012

印 刷 四川省地矿局测绘队印刷厂

版 次 1995 年 4 月成都第一版

1995 年 4 月第一次印刷

规 格 880×1168 毫米 1/32

印 张 13.125 300 千字

印 数 1—1000 册

定 价 20 元

ISBN7-5364-3034-5/P·56

前 言

地震临震预测预报是当代自然科学中的几个重大难题之一。研究地震临震预测预报,特别是临震前三天内的预报,为人类能够有时间采取防护措施,减少这一自然灾害所必需。解决地震临震预测预报问题将涉及到多种学科。其中有地震学、地球物理学、地质学、地质力学、弹性力学、塑性力学、材料力学、岩石力学、断裂力学、天体力学、理论力学、电子学等。来解决地震的临震预报问题需要这些学科相互交叉和渗透,综合运用这些科学知识。

本书试图着重说明力学是地震临震预测预报的物理基础,力学在地震临震预测预报中的应用,因而提出了“地震力学”的观点。用力学观点和技术紧紧围绕着地震临震预测预报问题开展研究实验工作。本书也是作者及其领导和指导的地震临震预测预报组的多年研究实验工作的总结,是集体劳动的成果。书中提供了许多有关地震临震前兆信息的观测资料,为以后的研究工作作参考。

本书分为四部分,共十三章。其中第一部分(包括前七章)主要是为以后的观测实验作基本知识的准备。第二部分(第八~第十一章)主要是地应力应变传感器的力学分析、设计、制造、标定和观测实验工作。第三部分(第十二章)是水库诱发地震的力学分析和地震传播衰减问题的分析。第四部分(第十三章)是地震临震预测预报和我国水库诱发地震资料汇编。

本书出版的目的是为了交流地震临震预测预报研究工作的经验,为共同攻克这个难题而努力。本书可供地震工作者和有关大专

院校的师生参考。

由于编著者的水平有限,本书中的错误难免,敬请读者批评指正。

高福晖

1994. 6. 16

目 录

前言	(1)
第一章 从地震力学观点看地震与临震预测预报	(1)
第二章 地壳运动与地应力	(2)
第三章 应力与应变的关系	(38)
第四章 地壳岩石的力学性质	(70)
第五章 土层地应力应变观测的力学基础	(85)
第六章 应变花在观测地应力应变中的应用	(97)
第七章 应变电阻丝在观测地应变中的应用	(116)
第八章 地应变传感器的力学分析与设计	(133)
第九章 地应变传感器的标定及其模拟实验	(170)
第十章 地震临震预测预报实验	(204)
第十一章 电阻式地应力应变观测中干扰 因素的识别与排除	(275)
第十二章 水库诱发地震的力学分析	(324)
第十三章 地震临震预测预报实例及我国水库诱发 地震资料汇编	(358)

第一章 从地震力学观点看地震 与临震预测预报

科学技术发展到今天的水平,地震是可以预测预报的,地震临震预测预报也是可以做到的。

1.1 地震力学与地质力学

地震力学是地震临震预测预报的物理基础。弹性力学和地质力学又是地震力学的理论基础。

本书用力学观点解释地震现象,从而提出了地震力学的理论和方法。

为了要做地震临震预测预报,要用观测地球自转速度的变化、极移的变化、地壳的应变应力场的变化,求出主应变、主应力和主应力作用方向,再结合地质构造和断裂分布情况,做出地震临震预测预报。

地震力学的内容主要包括:

- (1)地球自转速度变化和极移变化的观测;
- (2)地壳板块漂移动力源的力学分析;
- (3)地壳应力应变场的观测与分析;
- (4)地壳地质构造断裂带的分布调查;
- (5)地壳岩土层及岩石力学性质试验;
- (6)观测与实验方法研究及地应力应变传感器的研制。

用地震力学解决地震临震预测预报问题,是地震力学工作者

的主要任务。具体来说,就是要侦察地震这个地下“敌人”的潜在场所,并进一步监视它的活动,为保卫广大人民的生命财产和社会经济建设服务。根据目前实践,地震力学的任务主要有:

第一,调查和鉴别现今还在活动的地壳构造断裂带分布情况。这项工作地震地质工作的基础。它的主要任务是鉴定构造断裂带的活动性,查明活动构造断裂带所属构造体系的某些特点及其空间分布范围。这是为地震预测预报开辟道路的工作,为预报地震三要素中的发震地点打下基础。

地质构造断裂带的活动不一定引起地震,但是地震的发生,必然是由于某一构造断裂带的局部或者全部甚至是构造体系的活动,达到一定激烈程度而引起的。这一部分工作主要包括:

(1)使用宏观地质构造观测方法和必要的物理探测手段,开展构造断裂带活动性的调查研究;

(2)用仪器沿着某些断裂带测量微量位移,断层蠕动,或者以快速大地测量方法观测大地变形和相对运动;

(3)研究地震历史资料确定震中分布与构造断裂带和构造体系的关系;

(4)用地震仪记录的资料,补充和校验历史地震的震中与现今活动构造断裂带的关系。

第二,地震的预测预报。

构造地震(地球的天然地震)是由于地壳板块运动相互碰撞的结果。要有一定的力量推动地壳板块,板块才能发生运动。地壳中每一单位面积所承受的力量或它本身所产生的抗力,叫做地应力。不管地应力是怎样产生的,在岩石带有一定弹性条件下,它可能而且必然加强到地层中某些地点,遭到破坏变形,才有可能引起地震。

我们认为观测地应力应变的加强过程,观察地应力应变变化大小及其方向,是探索地震临震预测预报的可行途径之一。于

1966年3月22日发生在河北省宁晋东旺($N37^{\circ}30'$ 、 $E115^{\circ}03'$)的7.2级地震(邢台地震)之后,我国建立了第一支以观测地应力为主探索地震预报的专业队伍。几十年来,经过大地应力解除实验,证明了地应力的存在。通过观测地震前地应力应变的变化,证明了地应力的积累过程,就是地震的孕育、形成到发震的过程。

在60年代地震地质工作者提出要从以下几种方法入手预测预报地震:

- (1)压磁效应电感法;
- (2)地下水位观测法;
- (3)形变电阻率法;
- (4)超声波法;
- (5)钢弦法。

近年来,地震地质这门年轻的学科,获得了迅速发展。我国能比较成功的预报几次大地震,这与地震地质学科的发展是分不开的。1976年我国境内连续发生六次七级以上的大地震,从对这些地震的观测资料分析表明,地质力学的思路对于探明地震成因、地震预测预报都将具有很大的指导意义。而预测预报的理论与实践的深入研究,必将导致地震力学的产生与发展。当前,我们地震工作者要辩证地摸索前进道路,为有效地监视周围地震活动,进而争取实现如像对天气预报那样对地震临震三要素(时间、地点、震级)的准确预报。

1.2 地震与地震活动

众所周知,地震像刮风下雨一样,完全是一种自然现象。不过,强烈地震,是一种破坏性很大的自然灾害。地震发生在地壳深部,所以观测难度比较大。目前,地震的确切成因尚不十分清楚,但一般认为,由于地球不断旋转运动,特别是地球自转速度不均匀以及

极移的变化,便产生一种巨大的惯性推动力,推动地壳板块的横向移动和旋扭。当这种惯性推动力不断积累、加强,在地壳构造比较脆弱的地方,超过地壳抗力和岩层强度,就会发生剧烈的破裂和错动。这时,由于岩石的破裂而引起了剧烈的震动,传到地面,就是我们感觉到的地震。

大量的观测事实证明,地震的发生与地质构造有密切关系。强震往往发生在地壳构造薄弱地域和某些活动构造断裂带上。因此,有人形象地把活动构造断裂带比作地震发生的“温床”。在活动构造断裂带上,尤其是断裂带的拐点、端点及交叉部位,是应力集中处,容易引起岩石断裂而发生强震。

人们根据引起发震不同的事实,把地震分为以下几种:

(1)构造地震(即天然地震),当震源深度小于 70 公里的,为浅源地震;震源深度 70~300 公里的为中源地震;震源深度 300~700 公里的为深源地震;

(2)火山地震;

(3)塌陷地震;

(4)水库地震;

(5)地下核试验引起的地震。

地球上平均每年发生 500 万次地震,其中构造地震占 90%以上,火山地震占 7%。

1.3 地震预测预报概述

1.3.1 地震是可以预测预报的

1966 年邢台地震之后,对地震灾区进行了大量调查研究。经调查研究确认地震发生之前是有前兆的。根据前兆地震是可以预测预报的。自 1966 年以来我国地震预测预报的研究工作有了较快

的发展。在当时根据我国具体情况中央提出了“以防为主，专群结合，土洋结合，依靠广大群众，作好预测预报工作”的地震工作方针。在这条方针指导下，我国用了十余年时间，在预报地震工作方面取得了可喜的成绩，成功地预报了海城、龙陵、松潘等几次大地震。

自1976年中国境内又进入了一个新的地震高潮期。在这种背景下，中国科学院光电技术研究所（当时所址是在大邑县的大山沟里）成立了地震测报组，开始了地震预测预报研究工作。经过十多年来地震工作者的努力，现在我们对地震这个自然灾害的研究，已经占有了比以往更丰富的资料。人们已经深刻认识到，地震就像自然界里其它事物一样，有其孕育、形成、发生、发展的规律。这种规律是一定能够被认识的。许多大地震的孕育过程中，伴随着极为明显的地球物理变化，构成所谓“宏观异常”和“微观异常”。

目前，对地震的预报是根据观测和研究“地震前兆”而作出的。把前兆分为“宏观前兆”和“微观前兆”两类。由于地震发生在地壳深部，而微观测量又只能在地表浅层进行，所以观测的困难是比较大的。千百年来，我们祖先留下了丰富的地震记录，但没留下预报地震的经验。国外美、日、苏等国对地震前兆的研究，进展也不大。所以地震预报这个课题就成为目前自然科学中的几大难题之一。

1.3.2 地震预报分类

地震预报是地学中具体而又极为困难的科学问题。地震预报就是要在地震发生之前能够准确地预报出地震发生的时间、地点和震级（即称为“三要素”）。具体来说，按预报要求可分为以下三类：

（1）中、长期地震预报。在地理上把比较大的范围内划定为未来较长时间发生地震的危险区。

（2）短期地震预报。把“危险区”的时、空范围缩小到较短的时

间和较小的地理区域内。

(3)临震预报。对五级以上的破坏性地震,要在二十四小时之前作出“三要素”的准确预报。

在地震预报工作上,长期的要搞,中期的也要搞,特别重要的是临震预报。我们在地震预报实践中,注意了把中、长、短、临相结合,特别注重要努力突破临震预报这个难题。

1.3.3 地震预测预报手段概述

在地震预报尚不过关的情况下,我国地震工作者采用各种预测预报手段,通过宏观及微观异常观测,广泛监视着地震活动。目前使用的观测手段共有数十种,但都还处于研究试验阶段。总括起来,微观测量手段有地倾斜、磁偏角、土地电、波速比、地应力、地形变、水氡、地声等观测仪器。此外,还有生物电、地温、重力、形变电阻率、 γ 射线断层蠕变等观测方法。还有一些手段和测试仪器正在探索和研制之中。对于这些手段,应结合具体情况,灵活运用,排除干扰因素,找出识别前兆的规律来,同时结合观测环境的实际情况选择使用。待积累了大量观测资料之后,看看哪种手段对地震前兆反映优劣而决定取舍。

1.4 地应力应变观测在地震前兆微观观测中的地位

从地震力学观点看,地震是地应力作用的直接结果。地震发生前,地应力应变有一个加强的过程。如果抓住地震前地应力应变变化规律,将是实现地震预测预报的关键。另外从对地震地质的许多资料研究分析中可以看出地倾斜、地磁、地下水、形变电阻率、土地电等等,都是地应力作用的必然结果。也就是说,地应力变化,必然引起这些因素的变化。但是这些因素的变化,不一定反映地震的必然发生。但地震的发生之前一般有这些因素的反映,但有时也不一

定,例如地震发生之前不一定有地壳倾斜。因此,我们认为解决地震临震预测预报问题,关键在于观测地应力大小的变化,当应力值超过岩石强度值时则发生岩石破裂,地震发生了。我们还认为,观测地应力大小的变化,从观测地应变变化入手较为方便,再利用弹性力学的应力与应变的关系,求出应力大小的变化。根据应变变化情况求出主应变,再求出主应力、主应力作用方向、最大剪应力等,再结合地质构造断裂带分布情况进行地震临震预报比较可靠。

总之,从地震力学的观点来研究地震临震预测预报。我们把地震前兆分为两类:即直接性前兆和效应性前兆。而地应力应变的变化是地震发生前的直接性前兆。其它前兆则是地应力作用的结果,因此是效应性的,是第二位的。根据地震前兆进行临震预报时,我们应着力于首先观测直接性前兆。所以我们在研究解决地震临震预报问题时,首先选择了观测地应力应变的大小及其变化规律,随之要解决一系列的理论问题和技术问题。

综上所述,不难理解,在地震临震前兆的微观观测中,地应力应变的观测是处于首要地位了。

1.5 现有地应力观测方法

根据已有资料可以认为,把地应力的观测用于地震前兆的观测,我国是世界上开展此项研究工作的最早的国家。从1966年邢台大地震以后就开始了此项研究工作。在地震预测预报研究工作的专业队伍和群众队伍中首先使用的是压阻式碳精粉土层地应力仪。这种仪器一般由埋入地下的应力应变传感器和放在地上的测试仪表两部分组成,地上仪器仪表包括应变输出端联接记录器,进行连续、自动记录。该仪器的应力应变传感器部分是由橡皮粉和碳精粉混合物作为感受地震前兆应力信息的敏感元件。这种仪器制作简单、造价低廉、操作简便。根据地震前兆的观测资料,证明了地

应力应变的变化确与地震发生有一定的相关性。

就目前技术水平而言,要作出地壳岩层绝对应力测量是比较困难的。就相对测量来看,不论是在岩石介质中还是在土层介质中进行测量,尚有不少问题需要进一步研究解决。就测试方法而论,到目前为止,均处于研究改进和试验观测之中。有关这方面的概略情况如下。

我国现有地应力—应变观测技术研究概况:

1. 电感法

1970年前后,由李四光把瑞典人用于观测矿井塌方的电感应力仪引入我国并加以改进,用于观测地震前兆和构造应力场的变化。此法有时也称“卡斯特电感法”。

(1) 测量所依据的原理及主要技术思路:

利用磁性合金的压磁效应,设计出电感传感器,埋入地下基岩钻孔中。通过电感传感器可把地下应力—应变变化信息转变为电感变化量。通过测试仪表,把记录显示出来。可用于地壳中的绝对应力—应变测量及地震前兆的相对观测。

(2) 研究单位及技术历史情况:

以国家地震局地震地质大队为主进行研究。此外,地质力学所、广东、福建等省地震局,也有一定研究;铁道、石油等部门有一定应用研究。

(3) 主要技术难关

- ① 电感传感器长期使用中的稳定性;
- ② 下井技术;
- ③ 预加应力技术;
- ④ 密封及绝缘技术。

(4) 现状及主要特点:

1976年已建有分布全国近90个观测点。对1976年我国大陆发生的一系列强震,取得一些资料。1977~1979年新研制了直径

110mm 大传感器及 4103 压磁应力仪。目前还在设法完善。

(5)适用条件及主要优、缺点:

适用于在地壳基岩孔中进行相对观测和绝对测量。

仪器线性差,投资大,安装下井困难;易于受雷电、电磁场等变化干扰,难于克服。

(6)主要技术来源:

引进、仿制、改进。

2. 电容法

1976 年唐山大地震后,由河南省地震局鹤壁市地震办公室组织,把电容测微技术引入地震前兆地应力—应变测量,研究压容式钻孔应变仪。目前,国家地震局地质大队和地球物理所等单位,也在从事这方面研究。

(1)测量所依据的原理及主要技术思路:

应用电容测微技术,研制了差动电容传感器,作为测定地壳中应力—应变信息的换能器。通过测试仪表及记录器把变化量显示出来。已用于地下应力—应变信息的相对观测,展示出具有灵敏度高的优点。

(2)研究单位及技术历史情况:

河南省地震局鹤壁市地震办公室组织的技术力量,一直在从事研究工作。近几年,国家地震局地球物理所、地震地质大队等,也开展了这方面的研究。

(3)主要技术难关:

①电容传感器长期工作的稳定性;

②传感器密封技术;

③传感器与岩石孔壁接触的不稳定性。

(4)现况及主要特点是:

对仪器已经几次改进。目前灵敏度可达 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 。进行的观测试验,有的可记录到固体潮、地震波等。现正在河南等地进行

扩大观测试验工作。

(5)适用条件及主要优、缺点:

灵敏度高,稳定性好。适用在各种地下介质中作相对观测用。
对振动型干扰敏感。

(6)主要技术来源:

国内自己研制。

3. 电阻丝应变法

1976年地震高潮中,分别有四川新津民航科研所、河北工学院、西北工业大学、中国科学院光电所等单位,各自独立研究以电阻应变丝为传感元件的地应力—应变观测方法。后来,北京工业大学等单位,也开展了这方面的研究。

(1)测量所依据的原理及主要技术思路:

利用实验应力分析技术,研制了各种结构形式的电阻应变丝式的传感器,把地下应力—应变信息转换成电阻值的变化。经测试仪表放大监测和记录器显示出来。可用于地下多种介质中进行地应力—应变相对观测使用。目前,已有进行绝对应力测量的试验。

(2)研究单位及技术历史情况:

目前进行这一领域研究的单位主要有:西北工业大学、北京工业大学地震组、江苏太仓地震办公室等。1976~1979年在中国科学院光电技术研究所进行的工作从1980年转入四川省地震局继续研究。

(3)主要技术难关:

①电阻传感器长期工作的寿命及稳定性;

②传感器的密封及防潮技术;

③高灵敏度及低漂移问题。

(4)现况及主要特点:

对仪器系统已经几次改进,已作出四种观测仪器。灵敏度可达 10^{-7} ,寿命已达到三年。西北工业大学、北京工业大学的仪器已经

地区性鉴定,正扩大观测试验和进一步研究。

(5)适用条件及主要优、缺点:

适用于土层、基岩介质中进行相对观测和绝对值测量使用。

安装容易,投资省;电阻式传感器线性好,精度高;不易受雷、电、磁干扰。灵敏度再提高有困难,易受地面负荷变化干扰。

(6)技术来源:

国内自己研制的。

4. 钢弦法

在电感法之后不久,即开始着手研究的地应力观测方法。其研究实验已进行十多年。现河南省地震局仍在继续作这方面的研究工作。

(1)测量所依据的原理及主要技术思路:

根据受力作用下钢弦的自振频率随力的变化而改变的原理,测量钢弦的振动频率,借以反应地壳中应力—应变的相对变化。

(2)研究单位及技术历史情况:

河南省地震局等单位,一直在进行此项研究。

(3)主要技术难关:

①长期工作稳定性;

②零点漂移。

(4)现况及主要特点:

即将进行鉴定。在河南省已有几年观测实验。

(5)主要技术来源:

国内自己研制的。

5. 体积式仪器

1971年萨克斯(美)、与末广重二(日)开始进行体积应变仪观测实验。1978年日本人研究孔径变形计。现在这些工作仍在继续,我国已经仿制。

(1)测量所依据的原理及主要技术思路: