

丁文镜 著

地

震

预报的力学问题

清华大学出版社

地震

预报的力学问题

丁文镜 著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书建立了震区地块整体运动的非线性动力学模型分析和计算地震导致的地面运动,借以确认构造地震的弹性回跳现象。同时,本书给出估计震区地块动能的方法,奠定了预报震级的理论基础。分别利用纳维-库仑强度理论和自锁理论,形成挑选发震断层的两种方法,可以作为划定地震危险区的科学依据。根据地震的断层成因学说,建立闭锁破裂和断层粘滑震源模式;运用弹性力学理论,得到地震前断层位错分布特点和闭锁段周围主应力迹线的特点,可以作为预报震中位置的方法。又用浅源构造地震的充要力学条件,把各种地震前兆现象分为全息前兆和非全息前兆,借以探讨临震预报遇到的困难。

对于地震专家和相关专业学生,以及对地震预报感兴趣的各界人士,凡是具有大学本科理论力学和材料力学的知识,就能从本书获得地震预报知识,了解深入研究地震预报问题所应具备的条件。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

地震预报的力学问题/丁文镜著. --北京:清华大学出版社,2012.3

ISBN 978-7-302-28143-6

I. ①地… II. ①丁… III. ①地震预报—力学模型 IV. ①P315.75

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 029141 号

责任编辑:佟丽霞 赵从棉

封面设计:常雪影

责任校对:刘玉霞

责任印制:张雪娇

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编:100084

社总机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×230mm

印 张:7

字 数:147千字

版 次:2012年3月第1版

印 次:2012年3月第1次印刷

印 数:1~3000

定 价:19.00元

产品编号:045315-01

丁文镜先生是我国动力学与控制研究领域的资深教授,是我非常尊敬的一位学术前辈。20 世纪 80 年代,当我获得博士学位后开始独立从事动力学与控制研究时,曾从他的著作《减振理论》中吸取到许多有益的学术思想,学习到若干解决问题的方法。此后,又学习了他的著作《自激振动》,同样受益匪浅。今天,我有幸在丁文镜先生的新作《地震预报的力学问题》出版之前获得学习机会,再次领略他独特的学术思想和研究风格。

中国是一个地震多发国家。我在青少年时代,直接感受了邢台地震、唐山地震给人民带来的灾难。近年来,汶川地震、玉树地震带来的灾难又一次冲击着我的心灵。作为一名力学工作者,理应运用自己所掌握的力学知识和工具去探索地震奥秘,尤其是解决地震所涉及的力学问题,为预报地震发生和减少地震灾害贡献一份力量。然而,当我阅读相关的学术著作和文献时,看到涉及地震孕育与发展过程的力学研究主要集中在固体力学领域,包括研究地震波传播的连续介质动力学;而动力学与控制领域的学者主要研究地震发生时建筑物、桥梁等工程结构的抗震和振动控制问题,因此,我的学术兴趣逐渐集中到结构振动控制方面。

令我钦佩的是,丁文镜先生对地震孕育和发展过程进行了独特思考,开展了富有特色的研究,进而在地震机理研究中独树一帜。例如,他将研究出发点放到过去固体力学家所忽略的强地震时地块刚体动力学分析上,建立了简洁而有效的地块动力学模型,并通过非线性动力学分析揭示了地块弹性回跳的机理,提供了计算地震波能量的近似方法。又如,他利用摩擦自锁原理分析了断层活动,建立了断层相互滑动的条件,既提供了分析断层地震危险性的依据,又提供了活断层变为死断层的条件。这些研究所采用的力学工具是非常基本和简洁的,而所获得的结果是非常有趣和深刻的,为地震危险区的划分,地震震中、地震震级的预测等提供了解决问题的思路和途径。

我从丁文镜先生的研究联想到,近年来多柔体系统的动力学研究取得长足进步,已经可以方便地对同时具有刚体运动和柔性变形的复杂多体系统进行动力学建模和数值模拟。值得一提的是,基于绝对节点坐标的多柔体动力学方法可统一

描述连续介质“单元”的大范围刚体运动和有限变形,计入力学过程的几何非线性和物理非线性,这或许可以为研究强震中的地块复杂运动提供更精确的数值分析手段。

我相信,丁文镜先生的著作不仅将引起地震科学工作者的兴趣,而且将吸引力学工作者关注地震科学问题。因此,我郑重将该著作推荐给力学界的同行们,尤其是富有学术朝气的青年学者和研究生,并希望大家由此而致力于研究地震科学问题。



2011年9月于北京理工大学

丁文镜教授是清华大学力学系的资深教授,曾任该系动力学与振动理论教研室主任,对力学(尤其是动力学领域)有较深造诣,成果丰硕。最近, Springer 出版社为其出版一本专著,即 *Self-Excited Vibration — Theory Paradigms and Research Method* (《自激振动——理论、范例和研究方法》)。

在 20 世纪 50 年代,他进入清华大学学习机械工程,毕业前即转入力学领域,后来又在中国地震局地质研究所研究地震问题,发表了一系列颇有影响的论文,几年后重回清华大学力学系执教。

2008 年发生的汶川地震,导致巨大的生命和财产损失。出于科学家的社会责任感,他的目光又回到了地震预报领域,再次思考、探索地震预报问题,其专著《地震预报的力学问题》就是两年来探索的成果。

地震是一种极其惨烈的自然灾害,也是一种极为复杂的自然现象。但地震及其孕育主要是一个力学过程,我是在长期的研究中逐渐认识到的。这一点后来得得到科学大师钱学森先生的肯定(钱学森书信,第 9 卷,129~131 页,北京:国防工业出版社,2007)。

在 50 多年前我与丁文镜教授是同窗学友,而且二人有惊人相似的学术经历:我在 1957 年由清华大学机械系转入由钱学森、钱伟长等创办且亲自执教的第一届清华大学工程力学研究班学习,毕业后在中国科学院力学研究所工作。唐山地震后又转到地震战线。相似的学习和研究历程,使我和他在许多学术问题上观点相同或相近。在阅读本书时,其中的许多观点常常引起我的共鸣。

在连续介质力学中,一个“单元”的运动被分解为两部分:该单元的“整体”运动和单元的变形(以及与之相关的应力、损伤、破坏以及波动等现象)。前者在力学中被划归刚体力学(属于一般力学),所以在固体力学中一般被“撇开”了。丁文镜教授紧紧抓住了这一点,用一个很简单地震模型(滑块模型),同时发挥他本人的学科优势,进行了深入的研究,为地震预报中不少难题(如地震危险区的划分,地震震中、地震震级的预测等)提供了解决问题的途径,这是本书的一大特点。在品读时常使人有峰回路转、柳暗花明之感。当然,作者也清醒地指出,虽然书中所提出

的地块整体运动的力学模型不能描述震区岩体内的应力和变形的变化过程,然而后者与地震的前兆现象密切相关。因此,在研究临震预报问题时,还是要用固体力学和流变学理论,为震源体建立更复杂的力学模型。

总之,丁文镜教授的这本专著对于促进地震预报科学的发展将会大有裨益,我愿郑重推荐给地震预报领域的同行们。如能静下心来仔细读读这本书,对于地震预报中的许多问题会得到启迪,甚至会产生新的思路,找到新的途径。

尹祥础

2010 年于中国地震局地震预测研究所

中国科学院力学研究所

非线性力学国家重点实验室

前言

FOREWORD

按照板块运动学说,构造地震起源于地幔对流产生的板块水平运动;作用在相邻板块间的水平挤压力,导致活断层的闭锁部位破裂,引起断层两盘分界面宏观滑动,后者促使分界面的静摩擦力从它的最大值降到动摩擦力的数值,在断层两盘分界面上产生冲击卸载;闭锁部位破裂也要产生冲击卸载,两个冲击卸载合成后,使断层两盘岩体的应力突变,在岩体内激发起弹性波,并在地壳内迅速传播,这就是浅源构造地震的物理过程。由此可见,地震乃是岩体破裂和断层滑动产生的一种弹性动力学现象。浅源构造地震都发生在深部岩层内,涉及许多地学问题,使其成为力学和地学间的交叉学科问题。

浅源构造地震的物理过程表明,预报地震的震中和震级,以及发生地震的时间,必须了解地壳深部的地质构造和当地岩体的力学性质,包括断层的面积和闭锁部位的面积,特别是闭锁部位附近的应力场和岩体强度的演变情况。事实上,即便只是确定岩体强度这一项,也很难找到准确的答案。众所周知,岩石属于非均匀介质,即使在实验室内测定它的破坏强度也很难,何况要在野外条件下测定广大区域内深层岩体的破坏强度及其变化过程。显然,根据力学原理通过测量地应力预报地震,不容易成功,这既是从事地震预报研究的力学家很少的原因,也是要用其他学科的成果探寻预报地震方法的原因。

在人烟密集地区,每一次大地震都造成人民生命和财产的重大损失。唐山地震和汶川地震的灾害更是令人触目惊心。因此,举国上下渴望早日能够预报地震,形成了研究地震预报方法的巨大动力,促使我国地震预报方面的科学研究和实践走在世界前列。

20世纪70年代中期到80年代中期的一段时间,笔者曾经从事过地震预报研究,在中国科学院代管的国家地震局地质研究所工作的一段时间,更是专心致志于此项研究。本人此先做过一些工程力学的研究课题,遇到问题习惯于建立完善的力学模型,尽管当时已经改变研究对象,仍然受到习惯思维的束缚,总想弄清震源体的内部结构和岩体的物理特性,建立完善的力学模型。事实上,这是无法做到的

事,结果使工作陷于停顿状态。很久以后终于明白,与其追求无法获得的完善力学模型,致使工作毫无进展,还不如放宽对模型精确度的要求,仅保留对问题起决定性作用的因素,忽略其余因素的影响,建立高度简化的力学模型;再用严格的力学分析方法,导出一些有用的定性结论,从中找到对地震预报有启发的结论。循此原则开展工作,很快就从困境中走了出来,研究工作逐步取得进展。

如上所述,地震是地壳内的一种弹性动力学现象,尽管它的影响因素很多,而且,其中有许多因素很难预测,可是,地震孕育过程和地震波传播过程都严格地遵循力学原理,因此,按照力学原理建立的简化力学模型,再用严格分析方法导出的结果,虽然不能给出地震问题的准确答案,但是有可能定性地描述地震过程的某些现象及其演变规律,甚至能给地震预报提供有益的参考意见。基于这样的思考,笔者先后建立了几个高度简化的力学模型,探讨了地震预报的一些问题,都能得到定性结论,并发表了相关的科学论文。笔者返回清华大学后,有关地震预报的研究工作并未停止,曾经参加在大连棒棰岛召开的中国地震学会成立大会,并在首次学术讨论会的分组会上发表学术论文。此后,由于本人承担的教学和科研任务日益繁重,因而中断了此项研究。可是,当年在唐山地震现场看到的凄惨情景,从未从脑海中消失。此次汶川地震又夺去许多同胞的生命和财产,激起我为地震预报再作贡献的决心和勇气。由于先前已与施普林格(Springer)出版社和清华大学出版社签订了英文版自激振动专著 *Self-Excited Vibration—Theory Paradigms and Research Method* 的合同,直到2009年4月完成该书的书稿后,方才投入有关的研究和本书的写作。为此,重新审查和修改早先发表的论文,去芜取精。又对几个新问题进行了探讨和研究,得到一些有意义的新结果,包括强震时震区地块的整体运动分析;根据地震波携带的能量估计未来地震的震级;对逆冲断层地震地块的整体运动进行的分析研究;以及利用有摩擦的力学系统的自锁原理,解释地壳内断层活动性轮回变化的问题。综合最新取得的结果和先前的研究成果,编写成这本利用力学原理探讨地震预报问题的小册子。

笔者谨对该书寄予四点期望:第一,通过它对震区地块的整体运动和地震孕育过程的力学分析,解释地震过程中的某些现象;第二,为地震预报提供一些有益的参考意见;第三,建立高度简化力学模型研究地震预报问题的一套方法,以供力学同行研究地震预报问题参考,即使不能作为进一步上升的阶梯,至少可以少走一些弯路;第四,能够有更多的人阅读此书。对于了解力学较少的人,暂时承认本书所作的力学分析,把它作为本书的附录看待,着重阅读文字内容,对地震预报也会有充分的了解。因此,在一定范围内,这本书能够起到普及地震预报知识的作用。人们对于地震的孕育过程和发展条件有所了解,就能体谅地震预报面临的巨大困难,地震预报就有更加宽松的工作环境。

承蒙中国力学学会理事长胡海岩院士的关心和鼓励,在百忙之中挤出很多时间,为本书撰写序言;长期从事地震预报并创立加卸载响应比预报地震方法的力学家尹祥础教授,从

繁忙的学术活动中抽出很多时间审阅书稿,并为本书写序;刘祚秋和樊世超两位博士协助完成了本书的部分计算和绘图;对于本书的出版,庄茁教授给予了鼓励和支持,作者在此一并表示衷心的感谢。

丁文镜

2011年2月于清华大学

E-mail:dingwj@mail.tsinghua.edu.cn

目录

CONTENTS

第 1 章 引论	1
1.1 板块构造学说	1
1.2 断层与地震	2
1.3 地震的物理机制	3
1.4 地震预报与力学	4
1.5 全书简介	5
第 2 章 地块整体运动的力学模型	7
2.1 平移断层地震地块整体运动的力学模型	7
2.2 断层破裂滑动冲击后震区地块的速度	10
2.3 地块整体运动的相平面分析	11
2.4 逆冲断层地震的地块整体运动	14
2.5 滑块-弹簧-阻尼-冲击-摩擦模型的参数	18
2.6 滑块-弹簧-阻尼-冲击-摩擦模型述评	19
第 3 章 划分地震危险区	21
3.1 断层面的应力和应力圆	22
3.2 震区的平均应力和震区应力场的分类	28
3.3 断层破裂的力学条件	31
3.4 断层脱离自锁状态与地震	36
第 4 章 未来地震的震中	45
4.1 闭锁断层位错分布的特点	45
4.2 闭锁部位附近的应力增量	50

4.3 震区岩体扩容.....	53
4.4 预报震中位置.....	60
4.5 震源模式.....	63
第5章 未来地震的震级	67
5.1 地震的震级.....	67
5.2 地震波的能量.....	68
5.3 与地震波能量相关的参数.....	73
5.4 未来地震的震级.....	75
第6章 临震预报	78
6.1 震源体的几个力学模型.....	79
6.2 地震前兆述评.....	84
6.3 全息前兆和非全息前兆	86
6.4 临震预报.....	88
6.5 余震预报.....	89
后记	93
参考文献	95

第1章

引 论

岩体破裂引起的地壳振动称为地震,发生地震的地点称为震源,震源在地面的垂直投影点称为震中,震中到震源的距离称为震源深度。

采用不同的分类标准,地震可以有不同的分类。

按照震源的深度分类,地震分为三类:①深度从地表到 70km 之间的称为浅源地震;②深度为 70~100km 的称为中源地震;③深度超过 300km 的称为深源地震。

按照地震的成因分类,又可分为构造地震、火山地震、冲击地震和水库地震四类地震。其中,浅源构造地震是常发的地震,危害最大,本书仅研究浅源构造地震。

本章内容安排如下:首先,介绍与地震成因相关的板块构造学说;其次,鉴于地震的断层成因说已被公认,介绍与地震相关的断层知识;再次,探讨构造地震的物理机制以及地震预报与力学的关系;最后,概略说明全书的内容。

1.1 板块构造学说

根据大西洋两岸陆地海岸线的弯曲形状高度相似,气象学家兼地球物理学家魏格纳(A. L. Wegner)先后在 1921 年、1915 年、1924 年和 1929 年多次提出大陆漂移的观点,并在其专著 *The Origin of Continents and Oceans* 中系统地论述了大陆漂移问题。后来,摩根(J. Morgan)、麦肯齐(D. P. Mekenzie)和勒皮雄(X. Le. Pichon)等几位地学家,又把大陆漂移学说、海底扩张学说和板块构造概念结合起来,形成解释地壳运动现象的板块构造学说。按照此学说,地球的岩石圈比其下面的软流圈刚硬得多,岩石圈能够插入软流圈中。在其内部存在许多活动带,包括大洋中脊、海沟、转换断层、地缝合线和大陆裂谷等,这些活动带把岩石圈分割成大小不同的板块。板块边缘的接缝地带是地壳的活动地带,存在显著的构造运动,这些地带经常出现突发性的构造运动,就是构造地震。

按照板块构造学说,各大板块都在不间断地运动。例如,太平洋板块每年以 5mm 的平均速度向西移动,2 亿年要移动 10 000km。因此,每隔 2 亿年太平洋的洋底就更新一次。该学说认为,地球内部存在多个对流中心,驱使板块活动的动力源泉,来自岩石圈底下的地幔物质,地幔物质围绕这些对流中心沿着环形路线不断运动。在地幔物质上升处,地壳受到张力作用分裂,地幔物质由此处上涌,冷却后的地幔物质形成新的洋底;有些板块的边缘,板块物质向下俯冲,又回到地幔中去。至于地幔物质对流所需要的能量,普遍认为来自地球内部的热能。显然,流动的地幔物质与地壳底面之间有相对运动,存在摩擦力,该力作用于板块底面,它是板块持续运动的原动力,受到该力驱动,各个板块相互挤压,产生强大的水平挤压力,成为地质构造运动主要的原动力。

板块构造学说能够解释许多地质现象,已经成为地质学当今的主流学说。在解释地震成因及其空间分布等问题时,它比别的学说更有说服力。用它解释其他自然现象,也有较高的可信度。即便如此,还是有一些自然现象难以用它解释,只是说明板块构造学说还要进一步发展和补充。

1.2 断层与地震

相邻板块受到地幔顶面摩擦力的驱动,板块内各条断层的分界面上形成水平方向的挤压力。同时,岩体还受到自重力的作用。因此,地壳内的岩体总是处于三向压缩状态。但是,三个主应力通常不相等,某些区域的地表出现拉张变形。无论如何,岩石不能够承受较大的拉应力,岩体内不会存在较大的张性应力。

相邻板块存在持续的相互挤压作用,促使地壳的局部应力和变形不断增长,一旦某处的剪应力超过它的抗剪强度,该处的岩体就被剪断,产生一条新的断层。与此相应,当地发生一次地震。因此,地壳内的许多大断层都是历次大地震的遗迹。

当今地质构造运动显著的区域,有些断层正在活动,称为活断层。已经停止活动的断层,称为死断层。由于各个板块间挤压力的方向改变,原先活动的断层有可能停止活动,变成一条死断层。反之,原先的死断层也可能再次活动,又成为一条活断层。关于断层活动性交替变化的原因,还要在本书第 3 章详细说明。

地质学家对历次大地震进行过多次实地调查,掌握了充分的科学根据,最终确认地震与活动断层有依存关系^[1]。曾经被实地调查的大地震很多,包括 1891 年日本浓尾 8 级地震和 1897 年印度阿萨姆 8.7 级地震。特别是 1906 年 4 月 8 日发生的旧金山 8.3 级地震,它的调查结果对确认此种依存关系起到了决定性作用。事实上,一批地学家对 1906 年旧金山地震进行过两次测量,确认此次地震促使圣安德烈斯断层产生 3~6m 的水平位移,断层两盘的最大错距达到 6m。此项实地调查结果成为地震断层成因学说最可靠的证据。

实际上,历经漫长地质年代的构造运动,地壳内各大板块已经形成许多既大又深的断层,这些板块被它们分隔成不同形状和不同尺度的断块。我国大陆位于欧亚板块的东南端,

它的东边与太平洋板块相连,它的南边与印度澳洲板块相连,由于西进的太平洋板块和北进的印度澳洲板块沿不同方向持续挤压,我国大陆地壳内部形成了许多大断裂带。经过几代地质学家的实地调查,已经查清我国大陆地壳被这些断裂带分割成为许多地块,每个地块是一个具有相同运动方式的地质单元体,这方面的研究成果汇集在中国大陆断块构造图内。在活动地块的边界地带,通常存在强烈的差异运动。断块的分界面不可能是理想的平面,很容易形成阻止相邻地块相对运动的闭锁部位,该处存在强烈的应力集中现象,积累很多弹性势能,成为历次强震的震源体。事实上,我国大陆地区发生的大地震,包括所有 8.0 级以上强震,以及 80% 以上大于 7.0 级的强震,都发生在这些活动地块的边界地带^[2]。

关于地震发生的直接原因,目前人们普遍接受的一种观点是局部破坏引起断层两盘整体突然滑动。因此,要想准确地震预报,必须了解断层出现局部破坏和整体滑动的物理过程,特别是它的演进过程。事实上,与地震孕育过程相关的问题,包括划分地震危险区,预报震中位置和临震预报,都与断层的局部破坏和整体滑动密切相关。因此,闭锁部位破坏和断层整体滑动的力学条件,自然成为解决预报地震问题的科学基础。

1.3 地震的物理机制

持续的地质构造运动,使岩体产生显著的弹性变形,震区地壳积累大量弹性势能,在时间很短的地震过程内,一部分弹性势能迅速转变为地震波的动能。按照力学原理说明这个转变过程,就是所谓的地震物理机制。

人们对于地震物理机制的认识,经历了一个较长的时间和逐渐完善的过程。归根结底,理论来自实践,正确的认识,一定要与科学调查的事实相符,或者得到科学试验结果的检验。从 20 世纪初开始,最有说服力的要算弹性回跳学说,它由美国地震学家里德(H. F. Reid)首先提出。其主要依据是沿旧金山大地震发震断层两盘的岩体,存在 6.4m 长的位错。而且,在此断层的表面上,还有地震时两盘岩体往复错动的痕迹,这是弹性回跳学说最有力的论证。

弹性回跳学说可以归纳为几个要点:①地壳由包含断层在内的具有弹性的岩体构成;②这些断层及其附近的岩体,通过地壳构造运动,积累了大量的弹性势能;③岩体的应力达到强度极限,断层面破裂,两盘岩体突然相对滑动,产生弹性波;④地震后岩体回到无变形状态,弹性势能全部释放(作者注:只有部分弹性势能释放),形成地震。

20 世纪 60 年代中期,根据在岩石标本试验过程中出现的粘滑(stick-slip)现象(起源于固体表面静摩擦力的最大值超过动摩擦力),W. F. Brace 和 J. D. Byerlee 提出了断层粘滑学说^[3]。持续不断地壳构造运动,促使断层两盘分界面的摩擦力上升到它的最大值,促使断层局部破裂,发生宏观滑动。此时,断层面的摩擦力从它的最大值迅速降低到动摩擦力值,断层两盘岩体迅速释放弹性势能,产生地震波。同时,断层面的动摩擦力要做负功,要消耗一部分弹性势能,这部分能量最终转变为热能。断层两盘分界面土的动摩擦力要阻止岩体滑动,断层两盘岩体保留住一部分弹性变形,使其不能释放。因此,发震断层两盘岩体释

放的弹性势能,只是它在地震前储存的部分弹性势能。

每次大地震之后,各大板块继续运动,断层两盘岩体重新积累弹性势能,一旦达到断层破裂滑动的条件,该断层还要再次发生地震。但是与光滑接触面的岩石标本不同,断层两盘接触岩体呈犬牙交错状态,在断层两盘相对运动过程中,驱动力必须大到足以剪断彼此交错的岩体,特别是断层宏观滑动时,驱动力一定要超过断层两盘分界面的最大静摩擦力,要经过相当长时间的积累。这是地震危险区内的大地震周期发生的物理背景。

通过以上分析,综合考虑闭锁部位岩石破裂和断层粘滑两种物理因素的地震机制,称为破裂粘滑地震机制。

按照上述破裂粘滑地震机制,整个地震孕育过程被分为两个阶段,即地震孕育过程的前期和地震孕育过程的后期。

在地震孕育过程的前期,断层面上的静摩擦力低于它的最大值。此时,断层两盘接触面还存在许多不同尺度的彼此镶嵌着的凸出岩体,相邻地块挤压,促使断层面的剪力增长,新增的剪力由凸出岩体和断层分界面上的摩擦力共同承担。随着剪力不断增加,许多弱小的凸出岩体被逐个切断。每切断一个凸出岩体,都有一次较小的突然卸载(伴有微小的地震),同时,被卸下的载荷,主要由其他凸出岩体和断层面上的摩擦力共同承担。切断小凸出岩体的事件,一直进行下去,直到断层面摩擦力达到它的最大值为止。从断层开始活动(蠕动)起,直到断层面上的摩擦力达到其最大值为止,这段时间就是地震孕育过程的前期。

地震孕育过程的前期结束之后,立即进入地震孕育过程的后期。此时,断层面的静摩擦力已经达到它的最大值,不能再增大。只有强大的凸出岩体在阻止断层蠕滑,这个凸出岩体就是断层的闭锁部位。在相邻地块的挤压力作用下,断层两盘分界面新增加的剪力,全部由断层闭锁部位承担,这种状况一直维持到断层闭锁部位破裂为止,这段时间就是地震孕育过程的后期。

一旦地震孕育过程后期终结,断层闭锁部位破裂,立即爆发地震。此时,闭锁部位岩体破裂要产生突然的卸载,断层面的静摩擦力也从最大值降到动摩擦力值,也要产生突然的卸载。在闭锁部位破裂和断层滑动的极短时间内,这两种卸载产生冲击载荷,形成断层两盘分界面上方向相反的两个冲击力,在断层两盘岩体内激发起弹性波,并且在周围岩体内传播,这个在很短时间内完成的力学过程,就是浅源构造地震的破裂粘滑机制。

显然,同时考虑断层闭锁部位岩体破裂和断层面粘滑现象两种物理机制,要比单独考虑粘滑现象一种物理机制更全面、更真实。因为地壳内不会存在没有凸出岩体的平滑断层面,即使存在闭锁部位很小的断层,它的地震机制接近纯粘滑机制,也可以把它看作破裂粘滑机制的一个特殊情况。

1.4 地震预报与力学

我国大陆地区强震的数目居世界首位。20世纪全球共发生三次8.5级以上特大地震,就有两次发生在我国境内,它们分别是1920年海原的8.6级地震和1950年西藏察隅的8.6

级地震。某些稍低于 8.0 级的强震,它们的震中正好在城市内。例如,1976 年的唐山 7.8 级地震,此次地震几乎摧毁了整座城市,造成的损失远比一些 8.0 级以上的强震还大。因此,准确预报大陆内部的地震,成为我国地震学界的重要任务。

从 1966 年的邢台地震开始,我国就开始研究地震预报,40 多年来,我国广大的地震学者不仅参与了地震预报的实践,还进行震源物理和地震力学方面的理论研究,促使地震预报沿着理论与实践结合的道路前进,初步形成一套地震预报的程序和方法。然而地震预报是一项很难完成的科学难题,已有的进展离准确预报地震还很遥远。由于构造地震都发生在地壳深处,受到地质构造的控制,不同地区的地质构造相距甚远,目前又没有办法准确了解地壳深部的构造情况,难以准确地预报地震,必须坚持长期开展地震预报研究。人们研究任何问题,都应该实事求是,对于地震预报的研究也不能例外。所谓“实事”,就是查清震区的地质构造;所谓“求是”,就是研究断层破坏滑动的条件,这就需要解决许多相关的力学问题。本书专门探讨地震预报的力学问题,采用的方法是针对具体问题构成简化力学模型,建立此模型的微分方程,通过分析研究,最终找到一些有理论意义和应用价值的定性结论。

1.5 全书简介

本书名为“地震预报的力学问题”,应该包括中长期预报、短期预报和临震预报的主要力学问题,包括划分地震危险区、寻找未来地震的震中位置、估计未来地震的震级以及临震预报相关的一些力学问题。全书内容分为 6 章,在引论之后的第 2 章,首先建立了震区地块整体运动的简化力学模型,它由滑块、弹簧和阻尼器组成,滑块承受冲击载荷的作用,冲击载荷来自断层闭锁部位破裂和断层面的粘滑造成的断层面的突然卸载。然后利用相平面分析和数值分析,取得定性的结果,后者不仅能够解释里德(H. F. Reid)提出的弹性回跳学说,还能导出计算地震波能量的近似公式,给预报未来地震的震级提供一条新的途径。

第 3 章建立划分地震危险区的两种力学方法。首先,提出震区平均应力场的概念。以此为基础,用三维应力圆图的应力点表示断层面应力与断层方位角的关系。再用库仑强度准则,建立断层滑动的力学条件。对于大倾角平移断层而言,要求发震断层的走向与震区最大主应力方向的夹角足够小,而且,断层面的剪应力还要足够大。然后,运用经典力学理论,研究力学系统内摩擦力产生的自锁现象,建立研究断层自锁问题的力学模型。分析研究结果表明,断层进入自锁状态和脱离自锁状态,对震区最大主应力的方向和它的数值都有明确的要求。最后,比较上述两种力学方法导出的大倾角平移断层剪切破裂的力学条件和脱离自锁的力学条件,以及小倾角逆冲断层剪切破裂和脱离自锁的两种力学条件,结果表明,这两种力学方法导出的结果非常接近,从而使这两种力学方法得到相互验证,提高了利用它们判断断层能否滑动的可信度。

第 4 章提出预报未来地震的震中位置的新方法。既然断层闭锁部位破裂就要发生地震,未来地震的震中应该定在断层闭锁部位的上方。为了确定断层闭锁部位的位置,运用弹