

56.2535
03400

高等学校教学用书

地震地质学

北京大学地震地质教研室
南京大学区域地质教研室
武汉地质学院地震地质教研室

编

送



地震出版社

高等学校教学用书

地震地质学

北京大学地震地质教研室
南京大学区域地质教研室 编
武汉地质学院地震地质教研室

地震出版社

1982

内 容 提 要

本书对地震地质学这一新兴学科做了较全面、系统的介绍，重点叙述了地震发生的地质构造条件、地震的空间分布与活动构造的关系、地震地质的研究方法、地震烈度区划的原则与方法等内容，概述了不同大地构造学派对地震成因、地震与地质构造关系的看法，并对地震与介质性质及构造应力场的关系做了一定探讨。本书既可做为地震地质专业教科书，也可供广大的地震地质、地质和地球物理工作者参考使用。

地 震 地 质 学

北京大学地震地质教研室

南京大学区域地质教研室 编

武汉地质学院地震地质教研室

地 震 出 版 社 出 版

北京复兴路63号

北京新村印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经售

850×1168 1/32 13.75印张 插页1 352千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷

印数：1—5,500

统一书号：13186·165 定价：1.75元

前 言

为了适应当前地震工作及高等院校地震地质专业教学的迫切需要,我们根据国家地震局 1978 年 5 月在成都召开的“地震专业教材工作会议”上所拟定的大纲,参照当时对地震地质学发展现状,本课程的性质、任务、内容及与其它学科关系等的讨论意见,尝试性地编写了这本教材。

整个教材由北京大学、南京大学和武汉地质学院三个院校的地震地质专业合编而成。参加编写工作的有:修保琨(前言、绪论、第五章第一和第三节、第六、八、九章)、丁幼文(第一、二、三、四章、第十二章第二和第三节)、赵其强(第五章第五节、第十章)、刘锡大(第五章第二节、第十一章)、黄杰藩(第七章)、彭一民和何科昭(第五章第四节、第十二章第一节)。修保琨任主编。

本教材初稿完成后,曾得到多方面专家、学者的审查,谢宇平、魏世英、张裕明、胡毓良、叶洪、欧阳青等审阅了全书或部分章节,提出了许多宝贵意见,充实了本书的内容。1980 年 5 月,全国地震专业教材编审委员会又在北京专门召开了审稿会议,对全书逐章逐节地进行了审查,提出了修改意见,建议在进一步修改和审定后交出版社出版。会后,作者认真听取和考虑了各方面的意见,对初稿进行了修改,最后由强祖基审阅定稿。在此,谨向各方面的协助和支持一併致以谢意。

由于我们的水平有限,目前又缺乏同类教材作参考,不当之处在所难免,请批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 地震成因的有关假说	(10)
§ 1.1 地震成因的假说	(10)
§ 1.2 地震的孕育模式	(14)
§ 1.3 地震动力来源的假说	(19)
第二章 地震与地质构造	(23)
§ 2.1 地震的时空分布与地质构造	(23)
§ 2.2 地震与断层活动	(46)
第三章 地震与介质性质	(55)
§ 3.1 岩石破裂过程及其影响因素	(55)
§ 3.2 发生地震的地壳介质性质	(70)
第四章 地震与构造应力场	(84)
§ 4.1 构造应力场概述	(84)
§ 4.2 地震与构造应力场的关系	(93)
第五章 活动构造的研究	(101)
§ 5.1 第四纪地质与地貌研究法	(102)
§ 5.2 遥感研究法	(136)
§ 5.3 历史考古学研究法	(153)
§ 5.4 微观研究法	(158)
§ 5.5 地震构造的研究	(178)
第六章 深部构造研究	(196)
§ 6.1 重力测量资料在研究深部构造方面的应用	(196)
§ 6.2 地震测深资料在研究深部构造方面的应用	(212)
§ 6.3 磁测、大地电磁测深资料在研究深部构造方	

面的应用·····	(216)
第七章 力学分析方法对地震地质研究的应用·····	(227)
§ 7.1 力学分析方法应用概论 ·····	(227)
§ 7.2 构造应力场的物理模拟 ·····	(229)
§ 7.3 用数学模拟方法研究现今构造应力场及其与 地震迁移的关系·····	(242)
§ 7.4 岩石力学性质的实验研究 ·····	(248)
第八章 震害地质条件的研究·····	(261)
§ 8.1 平原地区震害的地质地貌条件 ·····	(262)
§ 8.2 高山与黄土高原地区震害的地质地貌条件··	(280)
第九章 地震的长期预测和烈度区划·····	(291)
§ 9.1 烈度区划的要求与步骤 ·····	(292)
§ 9.2 地震危险区划 ·····	(296)
§ 9.3 地震烈度区划 ·····	(316)
第十章 古地震的研究·····	(338)
§ 10.1 研究古地震的意义及其工作方法·····	(339)
§ 10.2 古地震的标志与古地震震中位置的确定 ·····	(343)
§ 10.3 古地震的年代与古地震周期的确定·····	(351)
§ 10.4 古地震震中烈度与震级的确定·····	(355)
第十一章 人为诱发地震的地震地质研究·····	(359)
§ 11.1 水库诱发地震·····	(360)
§ 11.2 注水诱发地震·····	(373)
§ 11.3 人为诱发地震研究的现状和展望·····	(380)
第十二章 各种大地构造观点对地震活动的解释·····	(383)
§ 12.1 地质力学对地震活动的解释·····	(383)
§ 12.2 断块构造观点对地震活动的解释·····	(399)
§ 12.3 板块构造观点对地震活动的解释·····	(406)
主要参考文献·····	(428)

绪 论

一、地震地质学的任务与研究内容

地球上每年大约要记录到一百万次地震。这些地震具有两个明显的特点：一是 95% 的地震震源深度约在 70 公里范围内，即发生在地球的表层，属于浅源地震，其余的则是中、深源地震，发生在地下 70—700 公里；二是破坏性地震集中分布在现代地壳活动强烈的构造带内（图 1），在地理位置上成带状展布。这些活动构造带，有的暴露在地表，有的隐伏在地下；有些是新生的，但多数则是老构造带重新活动。地震震中常常落在活动构造带的某些特殊构造部位上。

由此可见，地震现象与地质构造之间存在着密切的联系。地震是一种地质现象，浅源地震是现代地壳运动的一种表现形式。但这种运动和缓慢的大地构造运动不同，缓慢的大地构造运动只有经历了漫长的地质历史时期才能显示出来，而地震则是短暂的，一瞬即逝。由于地震突如其来，难于防范，会造成巨大的灾害，因而引起了人们的重视，同时也促进了地震科学的发展。

目前，多数研究者认为，浅源构造地震的孕育、发生和发展过程是：地壳中岩层受力变形，使其中的应力增强并集中于某些构造部位，当那里的应力超过岩层的抵抗能力时，岩层突然破裂并错动，释放出所贮存的应变能。从本质上来说，它是一个构造力学过程。因此，研究这个过程必须和现代地壳运动结合起来，从构造力学角度出发，具体阐明活动构造和现代地壳运动在地震的孕育、发生和发展过程中所起的作用。

从全球范围看，地震活动带与活动构造带的展布大致吻合。这一事实一方面说明地震的发生与活动构造带、特别是活动断裂带关系极为密切；同时也揭示着现代地壳运动是新构造运动时期

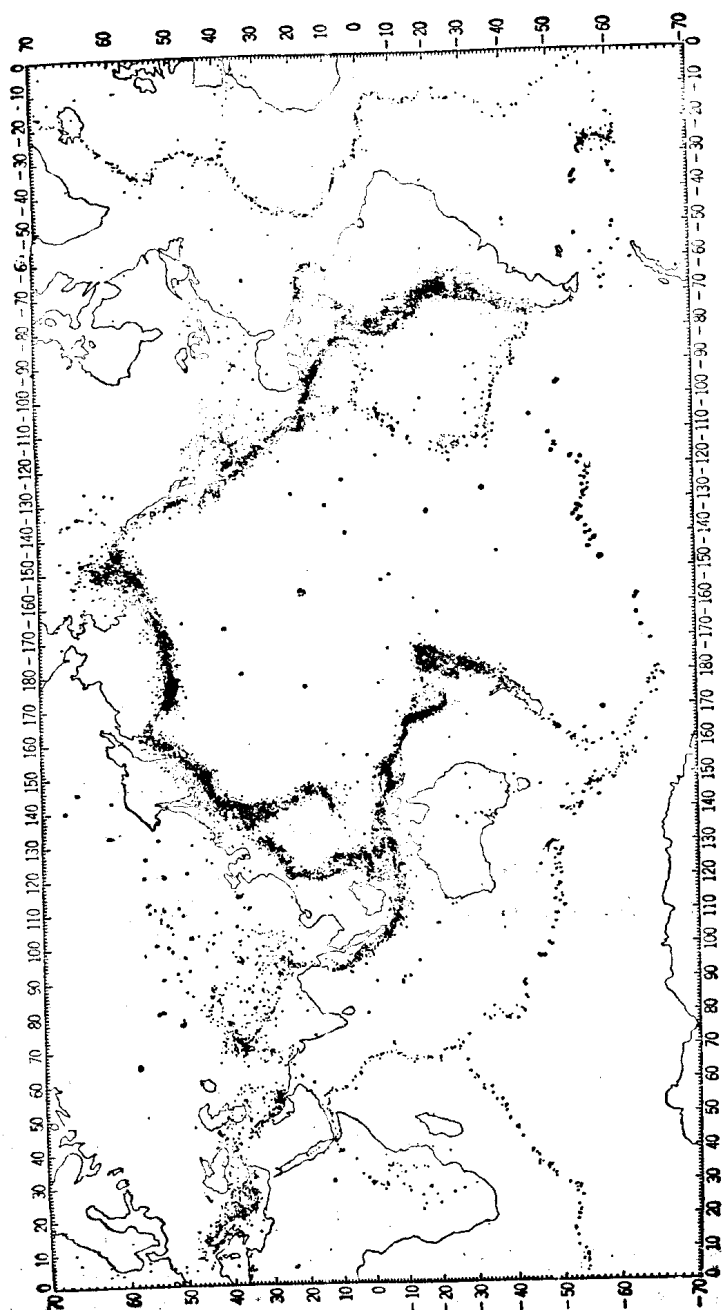


图 1 1961—1976 年全球 4 级以上地震震中分布图

以来构造运动的继续和发展。前人的许多研究工作已证实了这一点。因此,活动构造的研究是了解现代地壳运动的基础,研究现代地壳运动必须从研究活动构造入手。

从十几年来我国地震地质工作的发展,以及国外关于地震和地质构造关系的研究现状来看,地震地质学应是一门研究地震孕育、发生和发展的地质过程和条件的科学,它的主要任务是研究地震发生的构造条件、介质性质、应力分布状况与变化规律等。具体的研究内容概括起来有以下几方面:

1. 孕震区构造条件的研究:用宏观和微观相结合的方法,研究孕震区的构造条件,特别是震源区活动构造类型的细结构;

2. 介质性质的研究:主要研究孕震区及震源区介质的物理性质和化学成分、介质的均一性及连续性等。这方面的研究需配合适当的岩石力学实验和高温高压实验;

3. 应力场的研究:在上述两项调查研究的基础上,结合地应力、地形变等观测资料和震源机制解,并配合模拟实验,分析研究区域应力作用的方式与方向。在此基础上,研究前兆的形成机制;

4. 强震破坏的地质调查:主要调查地裂缝、挤压鼓包等强震时地表形变的形态特征及组合规律,进一步分析其力学性质和总体的延伸方向等,为研究发震构造、震源区构造的细结构提供可靠的依据。此外,还要调查震害形成的地质地貌条件;

5. 古地震(史前地震)的调查研究:重点是研究第四纪地层剖面中,古地震遗迹的时空分布规律,互相穿插和叠置的关系。在此基础上,分析不同地区地震活动期的长短,判断地震强度及震害特征,为长期地震预测和烈度区划服务;

6. 地震危险区划及烈度区划:根据不同地震区、带内地震活动的地质与地貌标志,结合区、带内地震活动的时空分布规律,分析地震活动的趋势,然后运用类比的方法,预测地震危险区,并在震害预测的基础上进行烈度区划;

7. 为了探索地震的成因, 认识地震活动的全过程, 必须进行诱发地震地质条件的研究;

8. 在上述综合调查研究的基础上, 探索地震发生的动力来源。

二、地震地质学的产生及其与其它学科的关系

恩格斯说过:“科学的发生和发展一开始就是由生产决定的。”地震地质学也不例外, 它的形成和发展, 与其它学科一样, 密切地适应于生产发展的需要。同时, 地震地质学也是人类在长期与地震灾害的斗争中积累起来的知识的结晶。

关于地震与地质构造的关系, 早已被国内外地震工作者所重视, 并有不少这方面的论述, 比较多的是对大震造成的地面破坏(地裂缝、地震断裂等), 以及地震沿着某些活动性断裂带有规律地重复和迁移等方面的论述。每次大震之后都有不少这方面的记述、解释和理论研究, 试图找到地震与断裂活动的关系。著名的弹性回跳学说就是美国人里德(Reid, H. F.)根据1906年美国旧金山8.3级地震时圣安德烈斯大断裂的活动而提出来的。但是, 地震地质至今还未形成一门成熟的学科。

国外关于地震和地质构造关系的研究开展得比较早, 以美、日、苏三国为代表。最近几十年, 这些国家开展了不少这方面的研究。他们选择地震多的重点地区, 作为观测研究的实验场地, 有重点地较系统地布置各种动态观测手段, 观测地震前兆信息, 探索预报方法和有关预报的理论问题。

美国的研究重点是围绕着圣安德烈斯断裂开展的。他们把各种动态观测手段有计划地布置在该断裂上, 研究断层运动的时空特征与地震活动的前兆信息。

日本对活褶皱、活断层与地震关系的研究比较重视, 并把这方面的研究与测震及系统的地形变测量资料结合起来加以研究, 在此基础上进一步探索其与地震活动的关系。

苏联早期很重视构造活动与地震活动的关系, 早在1949年

古宾(Губин, И. Е.)就提出了构造分析法,即把已经发生过强震的构造带与未发生过强震的构造带类比,推测未来发生强震的活动构造带及其地震危险性。近期,苏联在进行地震区划工作时主要采用将历史地震资料和构造物理方法相结合,浅部地震地质资料和反映深部地壳结构与物质状态的地球物理资料相结合的方法进行综合分析研究。

上述国家的地震地质工作各有特色,但其共同的特点是:地震地质工作与地球物理探测、动态观测结合得比较紧密。另外,这些国家都比较重视地震地质的基础实验和理论研究,如高温高压、岩石破裂和流变等实验。他们利用取得的成果和资料,通过实验和理论分析来研究地震发生的震源力学过程,建立一定的模式,探索地震成因,在此基础上指导地震预报。

我国是世界上较大的大陆地震活动区之一,浅震多,强度大,频度高,强震成带状展布,并有三千余年的地震历史记载,为研究地震的成因探索地震预报提供了有利的条件。但是,在旧中国,地震科学却得不到充分的研究。解放后,党和国家对这项危及人民生命财产的工作非常重视。早在五十年代,就对我国历史上发生的一些强破坏性地震,组织人员进行了实地考察,并且系统地整理了我国极为丰富的地震史料,为研究地震与地质构造的关系打下了基础。1957年,在李善邦教授和苏联戈尔什柯夫(Горшков, Г. М.)教授的主持下,编制了五百万分之一的《中国地震区域划分图》。配合该图的编制工作,地质、地理界的许多学者对新构造活动与地震的关系展开了讨论与研究。在此期间,李四光教授从地质力学观点出发,研究了我国,特别是西北地区活动构造体系与地震活动的关系,并于1960年在关于地震地质工作的谈话中,建议成立地震地质考察队或研究组。此外,在这个时期,还结合一些大型水利工程的建设,在我国开展了小范围的地震地质调查工作,并组织了专门的研究队伍。

1966年邢台地震后,我国相继发生了一系列强烈地震,有

关单位用不同的观点和方法在全国范围内进行了地震地质宏观调查、动态观测和实验研究，主要工作有以下几方面：

1. 地震与地质构造关系的调查研究；
2. 构造应力场的研究；
3. 应力场的模拟实验与岩石力学性质的实验研究，以及一些高温高压实验；
4. 深部地壳结构的探测研究工作。

在这一时期，地震地质工作得到了全面发展，并贯彻了深浅结合、动静结合的原则，研究的内容和方法也愈来愈明确。1972年国家地震局召开了中长期地震预报专业会议。在这次会议上交流了1966年以来地震地质工作的主要成果，总结了经验，对地震地质工作的方向、任务进行了讨论，并进一步强调，地震地质工作必须向着由浅入深、由静到动、由远到近的方向发展。同时，国家地震局于1971年至1975年间还组织了西南烈度队，以四川省的西昌—渡口一带为实验场地，开展了地震烈度区划方面的综合性调查研究，对强震发生的地质构造条件进行了深入的探讨，为进一步展开大范围的地震烈度区划工作提供了有意义的原则和方法。

1972年，国家地震局又组织了16个队和研究所，共同编制我国三百万分之一的地震烈度区划图，并配合编图工作，系统地整理了我国有史记载以来丰富的地震资料，而且在全国范围内展开了大规模的活动构造与地震关系的调查、大震地质背景与宏观破坏现象的调查。通过上述工作，总结出了一些强震活动的地质构造标志，为进一步开展地震地质和地震预测工作打下了基础。此外，在此期间，还对震源机制资料与地质构造条件如何结合、数理统计资料与地质构造如何结合，以及地壳构造活动与地震活动的动力来源等问题，都做了一些探索。

随着地震科学研究和地震预报工作的不断进展，近年来，地震的短临预报和震害预测等在我国也已提到重要日程上来了。在

这种情况下,积极进行地震地质调查,研究强震的地质构造背景以及震害地质条件,提供未来可能发生强震的地点和强度,预测未来地震活动区内由于砂基液化、喷水冒砂以及其它地基效应可能对工农业设施和民房住宅造成的破坏等,也就更为重要。

通过这些年来国内外地震地质工作的大量实践和研究,目前已初步建立起了地震地质学这一学科。这是一门介于地震学和地质学之间的边缘学科,它与地震学、地质学、地球物理学、地球化学、地貌学、大地形变测量学、天文学等有关学科密切相关、互相渗透。在研究方法上,地震地质工作并不仅限于一般的地质工作方法,还要配合相应的深部地球物理探测、模拟实验及其它动态观测工作,采用由浅入深、由静到动、深浅结合、动静结合的方法来进行研究。

地震地质学与地震学的关系非常密切,二者相辅相成。众所周知,地震是岩层受力快速破裂、错动的结果。尽管在地震的孕育、发生过程中也可能伴有复杂的地球物理和地球化学过程,但是归根结底它应是一个岩石破裂力学问题。此外,震源破裂的方式、地震波传播的速度、方向等与震源区的地壳结构关系亦极为密切。如果能够准确地确定震源区的地壳结构,对于研究地震的孕育模式和地震波传播的理论将有很大的帮助。反之,利用地震波在介质中传播的特征(包括速度和方向)、震源破裂方式,对于研究地壳结构、震源机制解和确定发震构造也具有很大意义。在地震孕育过程中,伴随出现的地球物理场和地球化学场的变化,如地形变、重力、地磁、地下水动态、物理性质和化学组分等方面的变化,也都直接或间接地体现着地壳运动的力学过程,可以作为短临地震预报的重要依据。

地震地质学与地质学的关系则更为密切。概括地说,地震地质学是运用地质学的原理和方法去研究地震问题,它可以通过地质学、地貌学和构造地质学等的调查研究,来判断断裂存在与否及其活动的程度,找寻与地震直接相关的活动构造。但是仅此还

不够,还不能回答那些断裂现今是否仍在活动(只有现今正在活动着的断裂才与地震有成因上的联系)。因此,地震地质学还必须运用各种微观手段的观测结果,如地应力测量、地形变测量、微震及重力等的观测结果,来综合研究地震与地质构造的关系,为地震预报服务。

多数研究者认为,地震是一种地质现象,构造地震就是断裂活动的结果。但是,断裂活动的方式很多,并不一定都引起地震,它可以是沿着断裂的某一闭锁段突然破裂造成地震,也可以以蠕动或粘滑的方式出现。因此,研究断裂活动的方式,观测其现象,对于地震研究尤为重要。此外,还应特别注意研究地震破裂的各种形态及组合特征,它们对于认识断裂的发展,分析其力学性质是十分有益的,是认识地质作用过程的宝贵资料。

研究板块运动是地质学的一个重要内容,在地震地质学中对于探索地震动力来源同样也有着特殊的作用。中国大陆内部地震活动的规律及动力来源,很可能是受印度板块和太平洋板块联合作用控制的。而利用地震在板块边缘的空间分布,又可以进一步确定板块俯冲带的空间位置和形态特征。

总之,地震地质学利用多学科的研究成果和方法,充实了本学科的研究内容和方法。它的建立必将对地球科学的发展具有一定的促进作用,对研究地球动力学也有着特殊的意义。

三、地震地质工作在地震科学和地震预报中的作用和地位

地震地质学是地震学科的重要组成部分,是地震预报、防震、抗震的基础。实践表明,地震地质工作在长、中期地震预报和危险区域划分中所起的作用愈来愈明显,对国民经济建设的影响也愈来愈大。

1973年炉霍7.9级地震以来,我国有9个地区发生过大于7级的地震,其中有6个地区是1973年前所编制的危险区划图或文字报告中,不同程度地作为地震危险区而提出来的。由此使人们认识到,在长、中期地震预报中,地点的预报在很大程度上取

决于地震地质和地震活动性相结合的研究。

当然，目前也存在着不少问题，如提出的危险区数量太多，范围过大，震级不够准确，时间上误差较大等。产生这些问题的原因是：（1）对活动构造，特别是活动断裂在全新世以来活动状况与地震的关系研究得不够，过去多停留在定性描述上，应该力争做到定量的研究；（2）对强震地质构造条件的分析，目前主要靠表层构造的分析对比，缺乏深部探测资料的配合，因而不能从本质上认识问题；（3）对地壳岩石力学性质的研究还很不够，尤其是对现代构造应力场及与其有关的实验、理论研究还跟不上；（4）对危险区内应力积累的方式和过程，以及一次大地震后应力分布的状况等，研究得不够，因而尚不能从本质上获得规律性的认识，以指导预报工作。这些问题的深入研究，还有赖于地震地质工作的深入。

第一章 地震成因的有关假说

地震按其成因大致可以归纳为以下几种主要类型：构造地震、火山地震、陷落地震、冲击地震和诱发地震。其中以构造地震最为常见，对人类的危害也最大，通常所说的地震大多是指构造地震，这里所讨论的也正是这种地震。

为了增强人类防御地震灾害的能力，必须在认识地震的实践过程中，探索其活动规律和形成原因。关于地震成因的研究主要围绕以下两个方面进行：一方面从地震现场的观测出发，寻找地震活动的规律性；另一方面是从岩石在高温高压下的各种破裂模拟实验的研究结果入手，结合各种有关的地震现象去探讨地震的成因及其发震机制。近年来，这后一项研究工作已逐步发展为断裂物理学与地球物理学之间的一门边缘学科——震源物理学（B.И. 米亚奇金等，1979）。此外，关于人为诱发地震，特别是对水库蓄水、核爆炸以及深井注水等诱发地震的深入研究，也为人们直接或间接地观测地震发生、发展过程创造了有利条件。

地震成因的研究在地震预报工作中的作用如何，尽管目前还存在着不同认识，然而它作为地震学的一项基本理论研究，无疑会大大地促进地震预报的早日实现。

本章将从地震的成因假说、震源孕育模式以及地震的动力来源等方面分别给以介绍。

§ 1.1 地震成因的假说

地震成因的研究如果从莱伊尔（Lyell）在其《地质学原理》一书中提出的关于地震的火山成因假说开始算起，至今已有一百多年的历史了。1910年，美国学者里德根据1906年旧金山大地震的断层活动情况提出了“弹性回跳说”，这一地震成因的断层假说

得到了世界上多数地震工作者的广泛支持。在此基础上,后来又进一步提出了“粘滑说”。一些中源和深源地震也随着“板块构造”的问世能够从断层假说中得到比较合理的解释。与此同时,作为地震成因的另一类假说——岩浆冲击说、相变说、温度应力说等也相继提了出来。

应当指出,尽管有关地震成因问题的研究已经取得了一定的进展,但目前基本上仍然处于假说阶段,要真正解决这个问题还要走相当艰难而漫长的路程。以下着重介绍几种主要的地震成因假说。

一、弹性回跳说

1906年4月18日在美国著名的圣安德烈斯断层上,沿其中400多公里长的一段断层突然错动,产生了一个8.3级地震。震后调查表明,沿该断层出现了3—6米的水平位移,最大错距达6.4米。从震前50多年到地震前后,在那里曾进行过多次跨断层重复基线测量(图1.1)。最初1851—1866年测量的基线是一条跨断层的直线,至1874—1892年复测时,测线呈右旋弯曲。1906年的复测结果表明,断层两侧相对位移在震前有所增大。震后,于1907年再次进行了复测,测得断层两侧测线错开约6米左右。

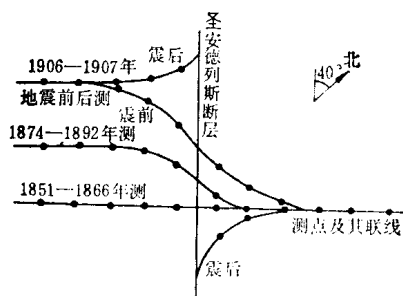


图 1.1 旧金山大地震前后基线测量示意图 (Reid, H. F., 1910)

里德根据上述断层活动情况,于1910年提出了地震成因的“弹性回跳”假说。他把地震的发生过程作如下解释:地壳运动产生的能量以弹性应变能的形式在断层及其附近的岩层中长期积累,并使断层两侧的岩块相对位移,由于断层面的摩擦和粘结作用,岩块的相对位移以弹性应变(切变)的形式表现出来(图1.1中自1874