

吴忠良 编著
刘宝诚



地震学简史



地震出版社

封面说明：

后排左起：伽利津、米尔恩

中排：里 德

前排左起：贝尼奥夫、古登堡、
杰弗里斯、里克特

封底说明：

上（左起）：莱曼、布伦、莫霍洛维契奇

下（左起）：张衡、魏格纳、维谢尔特

地 震 学 简 史

吴忠良 刘宝诚 编著

地 震 出 版 社

1 9 8 9

内 容 提 要

本书简要地叙述了地震学，特别是1880年以来百年间现代地震学的发展历史。全书共七章，分别介绍了古代中国的地震学、19世纪之交：现代地震学的创立、20世纪上半叶地球内部结构的大发现、50年代的地震学、震源物理的发展、板块构造学说的来龙去脉和它对地震学的影响，以及60至70年代地震预报科学走过的艰难而曲折的道路。该书适合从事地震学、地球物理学、地质学、地理学、自然辩证法和科学史等方面学习和研究的广大师生、科学技术人员及业余爱好者阅读。

地震学简史

吴忠良 刘宝诚 编著

责任编辑：商宏宽

责任校对：李 珺

地质出版社出版

北京复兴路63号

天津市大邱庄印刷厂

新华书店北京发行所发行

全国各地新华书店经销

850×1168 1/32 2.5 印张 67 千字

1989年7月第一版 1989年7月第一次印刷

印数 0001—4000

ISBN 7-5028-0253-3/P·163

(641) 定价： 1.20元

目 录

一 地震学前史：古代中国的地震学	(1)
1 引言	(1)
2 丰富的地震史料	(4)
3 张衡及其候风地动仪	(6)
4 古代中国的地震工程	(7)
5 古代中国的地震成因理论	(10)
二 世纪之交：地震学的创业年代	(14)
1 引言	(14)
2 现代地震学的建立	(15)
3 弹性回跳理论	(17)
4 《夏德通报》	(18)
三 地球内部结构大发现的年代	(20)
1 人类对地球认识的发展	(20)
2 大发现	(22)
3 震相与走时表	(24)
4 大发现时代的奠基者	(26)
四 50年代的地震学	(29)
1 1957年多伦多大会：地震核爆炸监测	(29)
2 1960年赫尔辛基大会：地球的自由振荡	(31)
五 60—70年代的地震学：震源物理	(34)
1 从力偶源到地震矩	(34)
2 震级	(36)
3 合成地震图	(39)
4 岩石破裂实验	(41)
六 60—70年代的地震学：新的地震成因理论	(44)
1 大陆漂移·海底扩张·板块构造	(44)

2 大陆地震之谜：地震地质·····	(47)
七 60—70年代的地震学：地震预报·····	(50)
1 大规模地震预报研究的开始·····	(50)
2 第一次尝试：地震前兆物理模式的提出·····	(55)
3 中国1966—1976：成功的喜悦与失败的痛苦·····	(57)
4 地震社会学的崛起·····	(62)
附录 地震勘探与地震工程发展简史·····	(65)
后记·····	(68)
参考文献·····	(70)

地震学前史：古代中国的地震学

1 引 言

对古地震的研究表明，地震的历史比人类社会的历史漫长得多。可以说人类自从诞生的时候起，就一直在经受着地震的考验。许多辉煌的古代文明灭绝了，这一点在学术界已没有多少争议。很多学者认为，目前人类的文明是第三期的，而第一期、第二期的早期文明基本上都灭亡了。这些文明灭绝的机制过去曾经、现在依旧、也许将来永远是无法理解的斯芬克斯之谜，但是有一点可以肯定，那就是很多古代文明灭亡的直接原因是地震。

在国外，有关阿特兰梯斯——“大西洲”的故事一直是最为流行的传说之一，这个传说由埃及人留给了柏拉图（Plato），在《泰米亚斯（Timaeus）》一书中他这样写道：“这里发生了猛烈的地震和洪水，在不幸的一天一夜中，全体武装的男人一股脑地陷入了地球之内，阿特兰梯斯岛也以同样的方式消失在大海深处……”。

在古希腊，与数学、力学、天文学和生物学相比，地学的发展确实瞠乎其后。1861年，英国学者施切华兹（J. Schwarcz）曾在《从远古到亚历山大时代希腊人在地质探索上的贫乏》一书中明确地指出过这一点。不过，在古希腊，对地震问题还是做了一些有意义的探讨。伊壁鸠鲁（Epicurus）认为，“地震是由于风被封闭在地壳内，结果使地壳分成小块不停地运动，即风使大地震动而引起地震。”卢克莱修（Lucretius）则认为，“来自外界或大地本身的风和空气的某种巨大力量，突然进入大地的空

虚处，在这巨大的空洞中，先是呻吟骚动并掀起旋风，继而将由此所产生的力量喷出外界，与此同时，大地出现深的裂缝，形成巨大的龟裂”，这便是地震。据说，亚里士多德（Aristoteles）也认为“气”是地震的成因，只是他说地下之气是由太阳照射造成的，阳光使地内湿性土壤变成水蒸汽，并且同时形成一种“干气”，干湿二气相互冲突，就引起了地震。

公元1世纪，受公元63年1月5日坎佩尼亚大地震的启发，阿拉伯学者辛尼卡（Seneca）对地震成因做了综述性说明，他指出，“地震的主要原因是气。气这个元素自然而迅速地在内地内运移，当它在空旷处活动，且潜伏的时间不长时，则不致为害；一旦把它驱赶到狭窄场所，而逃逸通道又被堵塞时，气就大发牢骚，向周围障碍物吼叫、撞击、长时间连续搏斗，然后呼啸而出，冲向高处，变得比周围障碍物更凶猛，更强大”，这就是地震的过程。

然而在其后相当长的一段时间里，有关地震的认识几乎没有任何实质性进展。中世纪神学的统治甚至使人倒退回用了超自然力量去解释地震的水平。1570年11月，意大利佛拉拉发生大地震。1571年，加里西奥（Galesius）在总结这次大地震时，提出了一些诸如大旱、暴雨、彗星出现、日光朦胧、地内怪声、大海骚动、湖水井水异常、以及鸟类飞翔紊乱等等的地震前兆现象，并建议了预防地震的若干措施。这些措施中包括房屋建筑抗震和应急避震方面的一些经验，无疑这些经验很值得借鉴，但更主要地则是“墙壁四周挂上麦丘里神像和司农神像”，以及“祷告上帝大发慈悲”之类的训诫。这说明，当时的地震知识还深深地禁锢在神学之中。据说，直到1750年，一个文章的作者在英国皇家学会会报的哲学报告中，还对在企图对地震作自然解释时易于被触犯的人们表示歉意。

1755年11月1日，万圣节，正当虔诚的教徒前往教堂“与上帝同在”的时候，距葡萄牙里斯本城几十公里的大西洋海底发生

强烈地震。这次迄今为止欧洲最大的地震使里斯本市遭受毁灭性打击，70000人死亡。大地震引起的海啸巨浪高30米，海水进退十余次，沿岸城市洗劫一空，英国、北非和荷兰的海岸也受到不同程度的损害。里斯本大地震后，上帝管理地震的能力受到普遍怀疑，欧洲的地震研究开始从神学的统治下解放出来。

日本的地震记载始于公元5世纪。在这个多震的岛国，长期蒙受地震灾害的人们甚至把希望寄托在一些奇特的迷信身上。从17世纪日本的一些历史文献中，可以看到一种有趣的传说，认为地震是由地底下的大鲰鱼突然翻身引起的。1855年江户地震后，以地震为题材的版画中画着各式各样的鲰鱼。在日本为什么鲰鱼同地震有关，这个问题至今也没有弄清楚。一个可能的解释是，鲰鱼在地震之前可能会出现频繁的异常活动。当然，也可能是形状奇特的鲰鱼给人以不祥之感，所以迷信的人们直觉地把鲰鱼和地震联系在一起。不过无论如何，今天，被制服了的鲰鱼居然成了日本地震研究的一个形象的标志。

在很多国家和地区的历史文献中，都能找到或多或少的有关地震的记载和传说。许多民族的先哲也都曾对地震成因问题做出过各具特色的说明。然而无论从哪个方面说，中国人在这个领域中的贡献都是无与伦比的。

或许这并不奇怪：许多辉煌的古代文明今天仅仅具有遗迹的意义，唯有中华民族的历史绵延数千年不息；许多世界奇迹——例如金字塔——都被不无道理地怀疑成外星人的作为，只有对万里长城是中国人用双手创造出的世界奇迹这一点人们至今坚信不疑。中国是一个多地震的大国。几千年来，中国人民在与地震灾害的斗争中付出了极其巨大的代价。1556年陕西关中大地震，是人类历史上死亡人数最多的一次大震，这次波及范围达90万平方公里的巨大地震造成96个州县的严重破坏，明《嘉靖实录》记载“压死官吏军民奏报有名者八十二万有奇……其不知名、未经奏报者复不可数计。”伟大的文明往往起源于巨大的痛苦，频繁

的地震灾害造就了中国古代辉煌的地震学成就。可以说，近代地震学产生之前的地震学史的主旋律，就是古代中国的地震学。

2 丰富的地震史料

中国自然史料渊远流长，连续性好，覆盖广阔，包罗万象。大而言之，中国5000年左右的自然史料可以分成三个阶段：第一是先秦时期的间断性史料阶段；第二是秦汉至明初的准连续性史料阶段；第三是明以来的连续性史料阶段。

中国人对地震的观察和记载是相当早的。《竹书纪年》所载公元前1831年“泰山震”，可能是世界上最早的地震文字记载之一。《春秋》一书记载了公元前722年至公元前476年山东西南的5次地震。《国语》、《晏子春秋》以及《左传》等先秦古籍中，也都有关于地震的叙述。当然，这些记载连续性很差，记述也很简略，可供科学分析的信息较少。

秦汉起，全国政治上的统一和文化的发展加强了历史资料工作，此间对地震等自然灾害也开始有了比较连续的记载。在某些地区，通过对一些漏失记录的补充，甚至可以建立起较长时间尺度的准连续变化曲线。

中国方志开始的年代很早。宋代以后，编撰和重修的地方志种类繁多，有全国总志、通志、府志、州志和县志等等。这些方志不仅记述政事，也很注意记录当时的各种自然灾害。及至明朝，基本上达到县县有志，全国有志县份达2000余处，密布在华北、华南、西北、西南以及东北等地。关于地震的记录也相当连续、详细和完整。在华北、华南、西北、西南的部分地区，地震史录甚至可以达到6级以上地震基本不漏的程度。

公元前193年至公元128年是中国历史上的一个地震活跃期。东汉伟大的天文学家和地震学家张衡的成长就恰在这一时期的后段。连连的地震以及当时物理机械的发展，促使这位“通五经、

贯六艺”的太史令创制了著名的候风地动仪，这是世界上第一架用于记录地震的仪器。

明末清初，从1484年到1730年，华北及西北东部地区大震连续发生，仅8级以上的大地震就有8次。康熙在位的60年里经历了3次灾害严重的8级地震，这无疑是促使他关心地震问题的直接原因。当时一些朝野有识之士总结震区人民的经验，记述了许多有科学价值的事实，特别是记录了許多地震前兆现象。有的学者认为，“近十多年来我们对震区宏观异常现象的总结，很大程度上是在重述16、17世纪的某些经验。”在这一时期，已经开始了初步的地震目录汇编工作。清初出版的《古今图书集成》地异篇，记载了自周至清康熙年间的地震以及地陷、地裂现象共650多条。

本世纪初，南京天主教士黄伯禄对历史地震记载资料作了较广泛的搜集，但他未完成此业就去世了，其遗著由一法国传教士于1913年用法文编写成《中国地震目录》，收集了公元前1767年至公元1895年的大小地震共3322次，其中遗漏、错误较多。1920年海原大震后，我国丰富的地震史料引起了一些科学工作者的注意。然而在当时的历史环境中没有也不可能有条件进行全面的搜集整理工作。

新中国成立后，为了适应国家经济建设对于烈度的实际需要，在中国科学院地震工作委员会的领导下，组织了大量人力，经过两年多集体努力，翻阅了8000余种文献，包括正史、别史、笔记、杂录和诗文集2300余种，地方志5600多种，还有故宫档案、报纸杂志以及一些近代的地震调查报告，搜集了从公元前1177年到公元1955年间的地震记载15000余条，共计地震8000多次，经过逐条审核校订，按其所记的时间、地点、情况与来源加以整理，分省逐年排列，于1956年编辑出版了《中国地震资料年表》。如此年代悠久，内容广泛的记录，在其他国家是很难找到的。

1976年唐山大地震的发生，再次引起人们对地震问题的普遍关注。根据地震工作的需要，中国地震历史资料汇编编辑委员会在《中国地震资料年表》的基础上又进行了进一步的汇集、整理、分析、审订，编辑出《中国地震历史资料汇编》，按年代共分五卷，自1983年起陆续出版。地震活动较强的省市自治区也分别汇编了更为详尽的地震历史资料，并搜集到不少有价值的碑刻题记等地震历史文物。特别是，西藏、新疆等少数民族地区的地震史料也被大量地发掘整理出来，从而填补了中国历史地震研究中不可忽略的空白，使这个多民族国家的地震史料更加丰富、充实和完善。

古老而系统的地震记录，是一份珍贵的历史遗产，具有重要的科学价值。根据历史上强震震中的分布情况和地震活动的记载，可以明确地圈定地震危险区，辨认出长期地震活动的周期和韵律，这对地震预报，以及国民经济建设的合理布局都具有非常现实的意义。而直到今天我们还不能说，我们已经掌握了打开这一富饶的宝库的钥匙。难怪地震学家普雷斯（F.Press）指出，“中国历史地震资料是每一个地震学家的必读文献。”

3 张衡及其候风地动仪

无论是在中国科学史上还是在世界科学史上，张衡都是一位难得的全才。这位伟大的天文学家 and 地震学家生于公元78年，卒于公元139年，适值东汉。史书记载张衡“少善属文，工制造，游于三辅，因入京师，观大学、遂通五经，贯六艺。”他制做的自动车、指南车、自飞木雕，均有史料可考。在天文学方面，他对“浑天说”的发展也做出了重要贡献。不仅如此，他还是一位正直的政治家。张衡曾出任东汉王朝的“太史令”、“公车司马令”，也做过河间地区的地方行政长官。在任职期间他抑强扶弱除暴安良不为世俗所动，也正因为如此屡遭宦竖之谗，“郁郁不

得志”。

阳嘉元年（公元132年）张衡创制候风地动仪，这是世界上第一架地震仪。候风地动仪的出现标志着一种思想的成熟：地震是由远处一定方向传来的地面震动。这表明张衡早于西方学者1000多年就了解到地震影响是从震源向各方传播这一现代地震学的基本出发点。《后汉书》记载：“阳嘉元年，复造候风地动仪。以精铜铸成，员径八尺，合盖隆起，形似酒尊，饰以篆文山龟鸟兽之形。中有都柱，傍行八道，施关发机。外有八龙，首衔铜丸，下有蟾蜍，张口承之。其牙机巧制，皆隐在尊中，覆盖周密无际。如有地动，尊则振龙机发吐丸，而蟾蜍衔之。振声激扬，伺者因此觉知。虽一龙发机，而七首不动，寻其方面，乃知震之所在。验之以事，合契若神。自书典所记，未之有也。”公元138年3月1日，“一龙机发而地不觉动，京师学者咸怪其无征，后数日驿至，果地震陇西，于是皆服其妙。自此以后，乃令史官，记地动所从方起。”

张衡以后，一些数学家和天文学家曾复制和改进候风地动仪。例如北齐数学家信都芳著《器准》一书，详细记载了古来各种科技仪器的发明创造，其中就记述了地动仪并附有插图。《隋书·经籍志》中有《地动图》一卷，很可能就是《器准》中的单行本。隋代天文学家临孝恭的专著《地动铜经仪》，也是论述张衡地动仪的。不幸，由于至今仍不清楚的原因，这架国宝连同以后的有关记述均已失传，而《后汉书》中有关地动仪的记载，则自19世纪以来不断被译成多种文字，流传于世界各地。

4 古代中国的地震工程

把地震工程作为地震学的一章来叙述并不是十分恰当的。但是一个地区地震工程的发展无疑也从侧面反映了这个地区地震的情况和在这个地区生活的人民对地震的态度。在抵御地震灾害

的实践中，中国人积累了许多极为宝贵的经验，这些经验表现在工程选址、地基、结构以及材料等许多方面，在应急避震、易损性，以及震后重建等方面也有不少详细的记载，这些经验直到今天仍然具有重要的参考价值。

在中国，历强震而不倒的古建筑决非罕见。有些建筑物修建的时间很早，虽经多次大震冲击，却只是被震裂，或者局部损坏，而从未发生过倒塌。过去的人们没有条件对这些奇迹做出科学的说明，所以流传着不少迷信的说法。其实，现在看来，这些古建筑之所以能经受住多次地震的袭扰，并不是因为它们处于某种神秘力量的庇护之下，而是由于它们结构合理、地基坚实、抗震性能良好的缘故。

中国古代对重大工程，特别是那些与神和皇权有关的重大工程的选址是相当讲究的，抛开那些骗人的神秘的东西不谈，古代的风水先生其实就是最早的工程地质学家。山西洪洞县广胜寺飞虹塔，1695年地震时只损坏了金顶，这并不是因为塔址的“风水”好，因而受到了神仙的保佑，而是因为它恰好建在霍山脚下的石灰岩岩基上。

中国人很早就开始重视建筑物的基础，汉、唐遗址中的夯土台保留至今仍旧结实坚硬。山西应县木塔高60余米，900多年来多次经历破坏性地震，《应州志》记载“塔历屡震，而屹然壁立。”除了结构上的抗震优点外，应县木塔基础的处理也是别具一格的。据推测，由于这个地区地下水浅，木塔的基础采用桩基础，其上再用石料砌成方形阶基，阶基高出地面1.5米左右后，改砌为八角形，两层阶基总高近4米。与塔高相比，木塔的基础范围并不大。测量表明，建塔初期的沉降是均匀沉降，而900多年来其基础未见任何特殊变化，这表明木塔基础的设计施工具有相当高的水平。

在结构设计方面，中国古建筑甚至达到了炉火纯青的境界。天津蓟县独乐寺观音阁始建于辽统和二年（公元984年），先后

经受过28次地震，特别是1057年（固安 $6\frac{3}{4}$ 级）、1624年（滦县

$6\frac{1}{4}$ 级）、1679年（三河平谷8级）和1976年（唐山7.8级）四次强烈地震的考验，至今完好无损。建筑学家梁思成曾为观音阁的五架梁做过静荷载、动荷载以及挠曲、剪切等应力的计算，发现该阁梁架结构用材非常得当，“宛如曾经精密计算而造者”。由于观音阁结构用材合理，结构本身，特别是上层梁架和屋顶较轻，柱网布置全局一体，榫卯结合严实而不死固，再加上地基坚实而匀称，所以能经得住风暴和地震的冲击而免受破坏。河北赵县横跨洺水的赵州桥至今已有1300多年的历史，它独特的拱洞式结构早已举世闻名。1966年3月邢台7.2级地震，它距震中不到40公里，受到这次强烈地震的袭击后，大桥岿然不动，表现出良好的抗震性能。

当然，建筑是一种文化。有时人们不得不为自己的文化观念付出一些代价。例如，蓟县独乐寺观音阁为了保持神的威严，其屋顶出檐相当大。这种处理在抗震上没有可取之处。康熙、雍正年间强烈地震后，屋檐四角发生下垂，所以乾隆时只好增加了支顶的小柱。

材料的选择对于提高建筑的抗震性能具有重要的意义，这一点很早就为中国人所注意到了。在台湾，有的城墙是用竹子和树木等材料筑成的，这一方面是由于取材方便，更重要的则是出于抗震的考虑。史书记载“以台地沙土浮松，不时地动，故以树为城。”赵州桥桥身选用的是大块坚固的石料，又用铁梁横穿拱背以加强其整体性，应县木塔的选材更有其独到之处。

中国平民阶层的住宅，多是土房、砖房建筑。深受地震之苦的人民在材料、砌筑方法和结构布局上积累了相当丰富的经验。以土房为例，广泛流传的经验就有体型要简单整齐，隔墙布置要密，门窗要小，土质粘性要大，土中掺麦秸和稻草以提高强度、

砌土坯象砌砖一样错缝，土墙顶部加木圈梁，等等，这些处理大大地提高了房屋的抗震能力。

通过一些地震，人们还积累了许多应急避震的经验。如，“大抵床几之下，门户之侧，皆可赖以免”（乾隆《三河县志》），“卒然闻变，不可疾出，伏而待定，纵有覆巢，可冀完卵，力不办者，预择空隙之处，审趋避可也”（明《地震记》），等等。有些史料甚至对地震时最不安全的地点也做了记载。这些从大量的伤亡和破坏中总结出来的经验教训，对于今天的防震抗震仍有一定的参考意义。

5 古代中国的地震成因理论

中国人探讨地震成因问题的历史，至少可以追溯至周朝。《国语·卷第一》记载，“幽王二年，西周三川皆震。伯阳父曰：‘周将亡矣！夫天地之气，不失其序，若过其序，民乱之也。阳伏而不能出，阴迫而不能蒸，于是有地震。’”这就是著名的“阴阳说”。伯阳父指出，地震是由大自然中存在的“阴”、“阳”两种对峙力量，通过“伏而不出”和“迫而不蒸”的相互矛盾斗争形式而引起的。这种看法代表了中国古人的一种典型的东方式的思辨方式。

与伯阳父不同，晏子认为地震的发生与天体运转有关，“钩星（水星）在四、心之间（在房宿、心宿之间）”（晏子春秋·外篇）、“维星绝，枢星散”（《晏子春秋·内篇》卷六），都被认为是地震的征兆。庄子则认为，“海水三岁一周，流波相薄，故地动”（《艺文类聚》卷八）。伯阳父、晏子、庄子对地震成因的看法对后来的研究都有影响，但相对说来、占统治地位的还是“阴阳说”。

在以后漫长的历史中，对地震成因问题的探讨进行了很多。研究这方面问题的，不仅有张衡、沈括这样的科学家，而且还有

司马迁、董仲舒、王充、柳宗元这样的思想家，甚至还有包拯、王安石这样的政治家。不过在他们的论述中，很少能见到超出伯阳父“阴阳说”的思路，在某些方面甚至越搞越糟，例如，很多人，包括张衡、董仲舒、包拯、王安石等，不止一次地把地震与人事国政牵强地联系起来。

造成这种情况的原因之一是，离开了具体的地震资料的思辨只能是思辨，而这种思辨是很难继续向前发展的。因此，这有里必要提一下康熙皇帝。这位开明的君主据说是中国历史上经历地震最多的皇帝。康熙在位时正值中国华北和西北东部的地震活动高潮，皇帝的特殊地位使他能够对当时的地震分布、地震灾害情况和历史地震方面的资料有一个系统的了解和总体上的认识。此间比利时传教士南怀仁（Ferdinand Verbiest）担任康熙政府的钦天监监正，著有《坤輿图说》，内有《地震论》，介绍了“气动地震假说”。熟悉伯阳父“阴阳说”的康熙皇帝吸收了“气动说”的思想，并结合具体的地震资料，形成了一系列正确的或者当时看来是合理的想法。1721年，爱新觉罗·玄烨写了一篇著名的地震论文（《康熙御制文》第四集，卷三十）。他写道：

“朕临揽六十年，读书阅事务体验至理。大凡地震，皆由积气所致。程子曰：凡地动只是气动，盖积土之气不能纯一，秘郁已久，其势不得不奋，老子所谓地无以宁，恐将发，此地之所以动也。阴迫而动于下，深则震虽微而所及者广，浅则震虽大而所及者近；广者千里而遥，近者百十里而止；适当其始发处，甚至落瓦倒垣，裂地败宇，而方幅之内，递以近远而差；其发始于一处，旁及四隅，凡在东西南北者，皆知其所自也。至于涌泉溢水，此皆地中所有，随此气而出耳。既震之后，积气已发，断无再大震之理，而其气之复归于脉络者，升降之间，犹不能大顺，必至于安和通适，而后返其宁静之体，故大震之后，不时有动摇，此地气返元之征也。宋儒谓阳气郁而不申，逆为往来，则地为之震；《玉历通政经》云阴阳太甚，则为地震，此皆明于理者。西北地方，