

中国地震学会第四次学术大会 论文摘要集

(1992. 6. 23—27. 北京)

中国地震学会

我国现代板内运动问题

丁国瑜

(国家地震局)

了解及测量板块内部现代运动的状况是当代地球科学中的一个重要研究领域，也是研究板内地震成因及其活动规律以及环境变化、灾害防治等有关的一个重要的基础研究课题。近年来对板块构造、活动构造研究的不断深入和空间技术在大地测量中的应用为进行直接测量与研究我国现代板内运动提供了极为重要的条件与可能。

我国是研究现代板内运动最为理想的区域之一，它处于几个板块会聚的附近，有强烈的板内地震活动，广泛分布有类型多样的活动构造，各活动单元之间相互运动及最新变形现象十分清楚，特别是青藏高原的隆起与变形对研究这一课题尤具特殊重要的科学意义。作为国家八五期间基础研究的一个重大项目“我国现代地壳运动及其动力学研究”已于1991年起正式开始启动。这一项目包括了如下六个二级研究课题：①中国现代地壳运动的全球背景研究；②中国大陆板内主要活动带现今地壳运动的特征与机制；③青藏高原的现今地壳运动与动力学；④中国沿海地区陆地与海平面垂直运动的研究；⑤地球重力场和大地水准面模型的研究；⑥中国现代地壳运动监测网和GPS测轨网的研究。

这是一个天文学、大地测量学、地球物理学、地质学多学科相互交叉的科研课题。为了满足合理布设GPS等测量网点及进一步有目的地开展观测工作的需要，以及对利用空间技术取得的很短时间段的地壳运动的测量结果与运用地质学等方法取得的有关现代板内运动的认识进行比较和衔接，先期开展了对距今较长时间段，主要是第四纪特别是晚更新世—全新世以来我国板内运动基本状况的专题研究与分析。本文主要是对这一先期研究中提出的有关我国现代板内运动的一些主要问题为我国板内新构造运动的分区，现代运动单元的划分，我国板内现代活动边界的类型、展布、活动状况，特别是一些主要活动断裂边界的活动状况，各类活动边界的相互联系转换的统一模型，第四纪晚期以来构造运动的趋向与位移总量和运动速率以及对我国现代板内、现代变形的基本特征的认识等问题进行的一些初步讨论。

发展中的宽频带地震学

陈运泰

(国家地震局地球物理研究所)

作为一门观测的科学,地震学的发展在很大的程度上依赖于观测工具的发展,而观测工具的发展则在很大的程度上依赖于同时代的其它相关技术的发展。从1875年意大利的Filippo Cecchi的第一台近代地震仪问世以来,到1975年第一个全球性数字地震台网—IDA台网开始建立的整整一百年间,由于在制作技术上所受的限制,地震学家只能在带通仪器上记录频率范围跨6个数量级(10^2-10^{-4}Hz)、地动(加速度)幅度跨12个数量级($10^0-10^{-12}g$)的地面运动(g —重力加速度)。七十年代以来,由于测震和微电子学的发展,地震观测系统中大量采用了数字记录方式,使得用一台仪器记录下“全频段”地面运动成为可能,从而把地震学推进到了“宽频带地震学”的新纪元。

本文回顾了全球范围内宽频带地震学即数字地震学在近十余年来发展,特别是它在探测地球内部结构、震源物理过程、地震监测预报以及减轻地震灾害所起的重要作用。

中国和美国大陆地震构造的比较

马宗晋 高祥林

(国家地震局地质研究所)

全球大陆地震震中分布图表明, 90%的地震集中在北纬 20° — 50° 之间的纬向宽条带内, 在这个带内可观察到四个地震活动图象相似的地区, 即中国—蒙古地震区、伊朗—阿富汗—巴基斯坦地震区、东地中海地震区和北美地震区。本文对位于这个带内的中国和美国大陆的地震构造作了比较, 从而进一步研究上述大陆地震构造格局的相似性, 并初步讨论它们的地球动力学背景。

1. 地震构造格局

纵贯东经 105° 的南北带, 把中国大陆分成东西两大构造区域。西部处于印度与欧亚板块会聚带之后, 具有一系列北西和东西走向的活动构造带、大幅度的隆起和断陷。东部在一系列东西向构造分区的背景上, 以北东走向的活动构造占优势, 但北西向活动断裂也起着重要的作用。

美国大陆以西经 105° 的南北向落基山为界, 也分为东西两大构造区域。西部以太平洋沿岸的褶皱带为代表, 以北西走向的构造带为主, 穿插以北东向断裂。东部以阿巴拉契亚褶皱山脉为代表, 主要是北东走向构造, 穿插以北西向断裂。横贯大陆有几排纬向构造, 与中国大陆的构造格局相似。

2. 地震活动性

中国大陆的地震活动分布表现为三分格局。南北带以西是板内地震活动性最强的地区。除了稳定的塔里木盆地和准葛尔盆地内地震很少之外, 在喜马拉雅山脉至新疆阿尔泰山之间2500多公里的宽阔空间地震密布成片, 细分划出的地震线以北西向为主。南北带东侧的鄂尔多斯、四川盆地、云贵高原是地震活动性很弱的地块。太行山以东的中国大陆东部的地震分布很不均匀, 多数地震集中在阴山—燕山与秦岭—大别山之间的华北地区, 大地震分布显示出密集成带现象, 几条北东方向的地震带以及张家口—烟台北西向地震带非常显著, 东南沿海还有一个与海岸线平行的历史地震活动性较突出的地震带。

美国大陆的地震分布也显示出三个特征区域。东区以西经 88° 为界, 主要有两条北东向地震带, 一条沿阿巴拉契亚山脉, 另一条在它的西侧, 它们与几条较短的北西向地震带交接。最显著的是波士顿—渥太华北西地震带, 在佛罗里达半岛以北、通过查里斯顿也有一条重要的北西向地震带。中部地区以西经 107° 为西界, 地震活动性较弱, 以三条比较稳定延伸的经向地震线为主体, 其间或多(西半部)或少(东半部)地发育了纬向构造, 整体形成正交网络。西区(106° 以西)是美国地震活动性最强的地区, 包含西海岸的圣安德列斯—内华达地震带、高原盆地地震区和落矶山地震带, 整体上以北西向、南北向地震线为主, 穿插东西向和北东向构造的控制、分段作用。

3. 两国大陆东部的比较

中国大陆东部和美国大陆东部都是远离板块边界的板内地区, 在地震构造细节方面的相似性更加明显。例如美国密西西比河中游的新马德里地震带, 构造上是一北东向的与前寒武纪裂谷相关的地堑, 两端被北西向断裂切割, 地震机制解的主破裂面是北东向的右旋走滑错动, 这些特征与中国的邢台地震非常相似。1604年中国福建省泉州附近海域的九度地震的地质构造背景可与1886年美国东南沿海的查理斯顿十度地震相类比。波士顿--渥太华北西向地震带则与华北的张家口--烟台北西向地震带相似。在这两个大陆东部地区, 地震机制解都反映出大范围均匀的区域构造应力场的存在, 最大主应力以北东方向为主, 在东南沿海转为与海岸垂直的北西方向, 震源位置往往与地堑或盆地地区的地壳脆弱带相关。

4. 讨论

中国大陆和美国大陆东西两侧的边界动力环境完全不同, 地震活动水平差别也很大, 但总体的地震构造格局却表现出很多相似性, 尤其是以南北向中轴为界的東西两边的反对称性给人以深刻印象。地处同一纬度带的伊朗--阿富汗--巴基斯坦地震区和东地中海地震区也有类似的特点, 这说明可能存在着对地震构造格局更高一层次的全球性动力控制作用。

北纬 20° -- 50° 大陆地震集中带与现代造山带的分布基本相同, 它们的形成可能与地球构造的南北非对称以及相应的经向动力环境有关。最近的一些研究证明, 大洋洋脊的地幔物质涌是被动过程, 首先是大洋岩石圈受到拉伸作用发生张性破裂, 才导致地幔物质沿洋脊裂谷上涌流出, 再向两侧移动产生新的大洋岩石圈。那么, 大洋岩石圈所受的拉伸力是从哪里来的? 联想到全球板块总体向西的漂移运动趋势, 不能不考虑地球自转速率的变化以及岩石圈与软流圈之间耦合不均匀性的影响。

中国大陆和美国大陆的南北向中间轴是岩石圈厚度较大的稳定条带, 起着阻挡应变能输的阀门作用。西部的岩石圈--软流圈系统的应变能间歇式地向东冲击, 局部地穿过这个阀门向东输送, 一方面使南北带成为地震活动相对集中的构造带(如中国), 另一方面导致大陆东部不均匀分布的深部变形和地震活动, 而这种由西向东的应变能输送过程在大尺度上受到地球自转速率变化的调制。

地球内部结构的地震学研究

臧绍先

北京大学地球物理系 (北京 100871)

地球内部结构的研究与地震学的发展有着紧密的关系,地震学为地球内部研究提供了有力的工具,自六十年代以来,地震学在三个方面有了明显发展:全球化观测台网的建立及改善,提供了大量的高精度的资料;大型计算机的引用及计算方法的改进;反演技术及方法的发展,从而使地球内部结构的研究有了迅速的进展,这一发展对整个地球科学具有深远的影响。

1. 地球内部结构及其非均匀性的研究.

自80年代中期,全球性地震层析投影结果提出之后,地球内部结构的研究有了飞速发展.研究方向有全球性的及区域性的;有研究弹性性质的,也有研究非弹性性质的(主要是Q值).研究方法也从层析投影方法扩展到地震学的其他方法,如类似于地震剖面方法.

最引人注目的全球性层析投影的进展是在面波及长周波SH波的应用方面.以前的结果分辨波长约4000-6000公里,而新的结果横向平均波长大约为800-1000公里,深度平均分辨长度在地表附近为70-80公里,在500公里深度约为300公里,结果表明,在上地幔各向非均匀性强,并与地表的构造有关,在下地幔非均匀性大大减小. MDL SH模型是这方面研究的一个系统总结,它给出了全地幔剪切波的速度分布.

地核的研究近几年也有进展,主要应用自由振荡资料及核震相的波形模拟,但总的看来缺乏深入的研究.

局部地幔结构的研究发展很快,主要方法是层析投影,面波频散方法及类似人工地震的横剖面的方法.

2. 地球球层模型及间断面的研究.

地震学观测资料表明,PREM球对称模型有时难以满足要求,一个新的地球模型

IASPR正在积极的建立之中,这一新的模型除保留了PREM能较好地满足自由振荡的资料之外,能更好地与体波资料符合。

地幔内间断的研究是近几年地震学研究的另一焦点。研究内容有确定间断面的存在;间断面是全球性的还是区域性的;间断面的深度变化范围;速度变化大小及急剧程度。近几年进展最大的是确定间断面的细致结构。各种研究表明,在410公里及660公里深度及2890公里深度存在全球性的速度间断面,速度变化明显。410公里及660公里间断面的深度变化在20-40公里之间;220公里及520公里也发现有速度间断面,但似乎不是全球性的;在上地幔,410公里-660公里之间是异常的高速度梯度带,地幔最下部的200-300公里(D"层)具有速度间断面及强烈的横向不均匀性。地幔地核边界引起极大的注意,它牵涉到核幔的耦合及能量的传递。

3.地球内部特殊构造的研究。

俯冲带,热点,热柱及洋脊是具有全球性的构造系统,在地球内部构造中具有重要意义,是地球内部研究的重要方面。它能反映地球物理大的循环过程。

近几年俯冲带作为地幔中的速度反射体,利用地震波的反射及转换,有人利用转换波发现俯冲带附近660公里间断面的深度变化小于50公里,推断660公里间断面是相变面而不是化学间断面。俯冲带也为局部层析投影研究的重点对象,目的是看其是否穿透660公里间断面,但其结果仍不一致。

地震层析投影分辨率的提高可以较为清楚地研究热点,热柱及洋脊的速度结构。最近面波的层析投影的结果表明,在洋脊下低速区一般只存在于100多公里深度,热点可能是热柱在地幔表层的暴露,同时发现在有些地区,热点和洋脊有一定联系,洋脊的物质可能在热点处得到供给。

地震学是研究地球内部结构最有力的工具,而地球内部结构的研究必将促进地震学及有关的发展。未来的几年将是地球内部结构研究迅速发展的阶段。

全球定位系统(GPS)的进展 及其在地震研究中的应用

赖 锡 安

(国家地震局地震研究所)

作为地壳介质在构造应力作用下发生破裂的一种表现形式,地震的孕育和发生过程,必然伴随着板块边缘和块内块体边界带应变积累、传播和释放带来的地壳形变。因此,地壳形变测量可以最直接地反映震源过程的力学状况,是确定断层应变积累,滑移分布,建立活动图象的有效方法成为地球动力学的活跃前沿,地震研究和预报的重要手段。

迄今沿用的传统大地测量方法,存在精度低、速度慢、花费高和实时性差等缺陷,在时间和空间尺度和频率域方面难以满足地震研究地壳形变由几何学步入运动学和动力学的要求。

空间技术的发展,使地壳形变观测与研究进入一个崭新的阶段。尤其是全球定位系统(GPS)全球覆盖、任意布点,全天候可供观测、快速高精度三维测量以及接收机轻便价廉等优点,使大地测量技术发生了巨大的变革。用于监测全球和区域的长期应变积累和动态变化,逼近中期变化的四维地壳运动图象,连续监测断裂带的活动参数取得短期前兆,从而为研究地震成因和评价地震预报的可行性提供一种新的依据。

GPS 是美国国防部为军事目的而建立起来的导航定位系统。由分布在六个轨道平面的24颗载有铯钟和铷钟,发射双频无线电信号的卫星和地面的接收机组成。自从利用载波相位干涉测量的高精度相对定位技术问世以来,在世界各地和各个科学领域掀起了一股方兴未艾的GPS热潮,在硬件和软件的改进,精度的提高和应用范围的开拓各方面都取得了长足的进步。

GPS 用户系统主要的突破在于对接收机信号响应的认识和减低多路效应的天线设计,低功耗小型化多通道双频接收机纷纷进入商品市场,售价也大幅度下降,由于快速逼近技术解决整周模糊度问题的进展,使GPS快速静态定位和准动态作业成为可能。本文列举了一些最新GPS接收机的性能和参数。

在提高GPS测量精度方面这几年作了大量的研究和试验,取得了较大的进展。在其他来源的误差逐步降低的情况下,相对定位精度主要取决于大气对流层改正的影响。目前一般作业并使用随机软件20至100公里的边长可保证获取1PPM的基线精度;采取一定的观测纲要和专用软件可优于0.5PPM;而利用VLBI或SLR作为基准点进行同步观测和解算,长达2000公里的GPS基线获得了0.01PPM的精度。

我国大陆的线源构造地震,绝大多数发生在块体边界带。破坏性大地震的空间展布达几十公里甚至数百公里。长期应变积累的速度等于块体相对运动速度除以应变带的宽度,从而得到一个很小的应变率。此外,由于应变积累时间变化的不确定性和发震构造在空间展布的不规划性以及并非所有边界带的运动都表现为大地震(例如以蠕变的形式释放能量)的事实,为地震研究特别是解决地震预报的震级、时间和地点带来很大的困难。为了利用GPS有效地监测断层蠕变,震前、震时和震后形变,推进人们对震源机制的认识,获取有用的前兆信息,就观测系统而言必须做到如下几点:GPS水平分量测量精度达到0.1PPM;有一个覆盖足够空间的比较密集的监测网并以和应变率相适应的时间间隔加以复测;相应的数据处理方法和软件。本文详细地讨论了GPS测量的误差来源以及达到0.1PPM精度需要采取的技术途径。

针对与地震研究相关的不同任务,GPS的应用可大致分为:

一、与周围板块间的大尺度联测,以了解我国大陆现代地壳运动的全球背景和力源分布。这类联测的边长超过一千公里,需要采取精密星历,基准点精确起算坐标以及同步观测才能取得足够的精度。地震研究所近年来利用我国对外开放的武汉站,成功地参加了与东亚日本列岛和环太平洋地震带的 GPS 联测,取得一批有价值的资料,今后应积极开展跨越喜马拉雅与尼泊尔、印度或孟加拉的国际联测,以取得印度板块向北推移的实测资料。

二、建立我国大陆 GPS 地壳运动监测网。在每一块体内部布设不少于两个 GPS 观测点,总数约为 23 点,平均边长 600 公里。点位尽量与 VLBI、SLR 及 GPS 跟踪网复合并采取同步观测的原则。通过定期复测,这个监测网对我国大陆现代地壳运动形态和特征的定量化,对探索我国大陆地震的成因、力源和动力学机制将有重大意义。我们将于 1992 年与国内其他单位一道先同步观测西部地区的十几个点。

三、监测地震带和地震带周围的长期应变积累图象和速率并发现其可能的中期变化。设计了一个由八条锁系组成的共 185 个点,442 条边的监测网,平均边长 140 公里,覆盖了我国大陆主要断裂带。限于经费和仪器的数量,近期的工作以南北地震带、祁连—阿尔金断裂带、燕山—阴山断裂带以及青藏高原南北锁系为主。考虑到断层的应变率,其观测间隔应在两年或更长时间。迄今已完成了滇西(两期)及川西,华北(一期)的测量,今年将完成河西走廊及青藏高原锁系的测量。

四、快速响应测量系统

监测中期变化的目的是更多地了解大地震的准备阶段,预测在一特定地区存在的危险性,并圈定需要进行专门研究的布设密集台网的强化监测区,因而对地震预报研究是关键性的。中期运动的时间尺度一般为半个月到六个月,因而快速测量系统具有重要的意义。

GPS 的特点为建立快速响应测量系统创造了条件。WILD 200 GPS 双频接收机,总重量仅 3.3 公斤,每个测站只要工作 2 分钟,即可获得精度达 1PPM 的基线边长(20 公里以内)。目前 GPS 三维测量垂直分量的精度比水平分量低二至三倍,但由于其快速性和长跨距(误差积累小)的优点,有可能代替一部分作业缓慢代价高昂的精密水准测量。即先用 GPS 在大范围内作垂直运动快速的“普查”,发现异常的区域和地段再用精密水准测量“详查”。

大震后的快速复测也是 GPS 可以施展其优势的领域。震后的快速复测对余震判断,研究震时形变,震源机制反演和上地幔流变学都是十分重要的。

五、对地震预报而言,最重要也是最难以捉摸的是震前形变的短临前兆。这涉及信息的精度及获得、传送和分析信息的速度。因此最有效的途径是建立固定形式的连续监测网,包括一天 24 小时连续跟踪 GPS 卫星加固定站,通过高速通信链路的数据收集中心以及对数据的快速处理分析判断的计算机系统。

1988 年日本国立防灾中心用 10 台 Mini MAC 2816AT 型 GPS 接收机在欧亚板块、太平洋板块和菲律宾板块交会的关东—东海地区建立了一个连续监测试验网。接收机自动跟踪卫星,数据每分钟采样一次并传送到茨城中心计算机。该网测出了每年 1—3 厘米的线应变并根据形变前兆成功地预报了一次伊豆半岛火山的喷发。

美国在南加州也布设了类似的“永久 GPS 大地测量阵列(PGGA)”系统。

以毫米级的精度连续监测潜在震源区几百公里范围内地壳微动态变化,也许是 GPS 用于发现震前形变短临前兆最富有挑战性的应用前景之一。就技术而言,我们目前也已具备了实施的条件,但接收机数量太少,还难以实现。

GPS 的崛起为我们展示了地壳形变应用于地震研究的新的前景。但目前仍有许多问题急待解决,尤其是涉及精度和自主性的我国卫星跟踪网的建立等。为了充分发挥它的作用,前面还有一段艰巨而漫长之路。

地震预报研究中的新方法

冯德益

(天津市地震局)

本文简要介绍了作者及其多位合作者近年来探讨出的可用于地震预报研究的一些新方法。

一、基于地震前兆模糊分析识别的方法

模糊模式识别的直接方法和间接方法，均可应用于分析识别地震学前兆（地震条带、地震空区、地震平静、地震序列的自相似性、 V_p/V_s 等）和非地震学前兆（地下水氧含量、水位、地倾斜、潮位、体应变、地形变、地电阻率、地磁等）。对中国和日本的前兆观测资料都作过处理，并提出两种适用于中短期地震预报的前兆模式。在分析识别出地震前兆并研究其时空分布特征的基础上，可归纳出基于地震前兆的模糊地震综合预报方法。其中，未来地震的震级可根据连续10天内出现异常的前兆次数多少，或前兆异常展布区的空间范围大小等来估计；震中位置可按以下两条原则来确定：一是震中位于高异常从属函数值区域内，二是震中位于前兆异常象限分布的节线交点附近；发震时间则可根据前兆异常最早出现的时间与 M 间的经验关系式 $\log \Delta T = aM + b$ ，对华北 $M \geq 5$ 地震可取 $a = 0.315$ ， $b = 50$ ， ΔT 以天为单位。

二、模糊分维方法

以地震活动性和地震前兆的模糊时间分维和模糊空间分维特征为基础，可识别与分析地震学和非地震学前兆。对中国、日本和美国一些地区都有应用实例。主要研究结果是：(1)大地震活动高潮期与模糊时间分维呈上升趋势的时期相对应；(2)大地震发生前数年地震活动的模糊时间分维与模糊空间分维均要发生下降异常变化；(3)大震前数月地震前兆（如水化、地电、地形变等）的模糊时间分维可能出现下降异常，且震中距愈近，异常出现时间愈晚；(4)大地震发生在模糊空间分维减小的地区或先减小而后达到高值的地区。这些结果可应用于中期及短期地震预报当中。

三、灰色模糊预测方法

把模糊集理论与灰色系统理论的方法综合应用于地震预报研究当中，即得灰色模糊预测方法。本文介绍两类灰色模糊预测方法。第一类是建立地震的灰色模糊预测模型，现在有两种：模型 I，用于对 $M > M_0$ 左右地震发生时间的预测；模型 II，用于对 $M = M_0$ 左右地震发生时间的预测。第二类是灰色模糊聚类分析方法，有两种方案：一是用灰色预测模型 $GM(1,1)$ 对预报指标进行筛

选, 然后进行模糊聚类分析; 二是用灰色关联度代替样本间的相似系数, 再求出传递闭包进行分类。用这两类方法均可取得比纯灰色预测或纯模糊预测更好一些的预测效果。

四、由构造波所反映的地震前兆现象

在地壳流变介质传波理论研究的基础上, 可以划分出三类由构造波所反映的地震前兆现象, 即: (1) 强震沿各个方向、或沿纬度变化方向、或沿构造带方向的迁移, 我们称之为地震活动波, 它们分别与广义雷利型、洛夫型及导波型构造波相对应; (2) 地震前兆的三阶段发展过程, 该过程可视为由未来大震震源区发射的构造波在一定距离的外围介质“分界面”(即孕震体边界)上反射而产生反射波的过程的反映; (3) 由短周期构造波所反映的短临地震前兆, 过去曾称之为“长周期形变波”。这三类前兆现象可分别用长、中、短周期构造波(面波型或体波型)来解释, 并且都有相应的实例。

五、神经网络方法

把神经网络模型与方法引进地震预报研究当中, 可提高多种前兆手段的综合预报能力。已初步研究的方向有三: (1) 地震前兆信息的提取和非震因素的识别; (2) 前兆时空演化过程的动态追踪; (3) 基于多台多手段前兆资料的地震综合预报, 特别是中短期跟踪预报。所使用的神经网络模型主要是多层反传(BP)模型, 也参考使用高本英行提出的基于模糊推理(近场推理)规则的神经网络模型。在输入数据带有较大模糊性的情况下, 也可使用模糊神经网络模型。对唐山7.8级地震前的前兆神经网络模型已得出初步研究结果。

六、脸谱分析方法

脸谱分析方法是一种用人脸的轮廓及五官的形状大小等来表现多元样本特征的高维数据图形表示方法。现已编制出可用于绘制多达23维数据的脸谱的通用软件, 并从两方面推广应用于地震预报研究当中: (1) 绘制我国华北、西南等地区一些 $M > 7$ 地震前若干年的地震活动脸谱, 并分析研究其随时间的动态变化, 可从震前三年左右开始发现异常形态的脸谱; (2) 绘制唐山等大地震前的地震前兆脸谱, 并分析研究其随时间的动态变化, 可发现这些脸谱在大震前1-3年(或半年-3年)有较明显的异常变化, 并且随时间越来越变化明显。因此, 脸谱分析法可用于中短期地震预报当中。

七、由数字化地震记录所提取的某些新的地震波前兆指标

由数字化地震记录并采用新的分析处理方法所提取的新的地震波前兆指标主要有: S波分裂和体波波形的时间非线性度及空间非线性度等。这些指标可反映较大地震前的中、短期前兆异常。本文给出了大同6.1级、青海共和6.9级及唐山中强余震前这些指标出现异常变化的具体实例, 并讨论了其物理机制。

工程抗震的新领域—结构振动控制

张敏政

(国家地震局工程力学研究所)

本文叙述了建筑结构振动控制的起源和设想,介绍了控制理论在建筑结构抗震中的应用和当前振动控制应用开发研究的现状,最后提出了该领域研究的前景展望和有待解决的主要理论和技术课题。

社会经济的迅速发展对现代建筑结构的安全性、适用性和舒适性提出了日益增高的要求。由于新型高、长结构的建造并辅之以办公自动化的趋势,一座重要建筑破坏所引起的损失,将大大超出建筑物的自身价值,而对社会经济生活产生重大影响。对于那些具有重大社会机能的建筑,如应急指挥机构所在和生命线工程的枢纽建筑,人们有理由要求它们在灾害环境中仍可运行;另外一些高技术,高精度的生产设施和科学设施,对环境振动幅度有着更严格的要求;再有,如何加固那些未经抗振设计的既存建筑,尤其是一些具有重大文化价值的古建筑,使其在地震中免遭毁坏,也是社会面临的重要课题^{〔1〕}。面对当今社会对建筑结构所提出的更新、更高的要求,按现行抗震规范设计建造的房屋和构筑物已显露出某些局限性,这主要表现为:

(1)传统建筑材料(砖、石、木、混凝土和钢材)的物理性能,难以满足设计者对结构、构件的强度、变形和耗能能力的新的更高的要求。

(2)按抗震规范设计的建筑一旦建成,其抗震能力就被固定在某一设防水准上,

(3)因而,在目前乃至今后不能准确预估未来地震的强度和特性的情况下,建筑的安全性仍令人担心;

(4)相对于建筑物的使用寿命,强烈地震是一种罕遇的自然灾害,极大提高抗震设防标准将增加社会的经济负担,且必然造成社会财富的浪费。

在人们对建筑抗震的安全性和经济性进行权衡,试图在现行抗震方法的基础上寻求更适当、满意的设防水准的同时,工程师们也产生了对建筑结构实施隔震和减振技术措施的设想,并于本世纪七十年代提出了建筑结构振动控制的概念。目前,广义的建筑振动控制涉及如下构想:

(1)减少输入上部结构的地震动幅度或改变其频谱特性;

(2)利用设于建筑物上和相邻建筑之间的附加装置改变体系的动力特性、耗散地震能量,减低结构体系的地震反应;

(3)在地震中,结构构件可改变自身刚度和变形能力,以求避免类共振现象的发生并耗散地震能量;

(4)通过控制系统利用外界能量对结构施加控制力,使结构地震反应满足预定要求。

显然,上述设想的实现已超出了传统抗震设计的范畴,提出了在新的理论基础上进行跨学科合作研究的必要性。振动控制,尤其是主动控制的研究涉及控制理论、随机振动、结构工程、材料科学、生物科学、机械工程、计算机科学、振动测量、数据处理和自动控制技术。振动控制的实现,将以上述领域的研究成果为基础,反之,亦将推动上述学科的深入发展。

目 录

大会报告

我国现代板内运动的问题·····	丁国瑜 (1)
发展中的宽频带地震学·····	陈运泰 (2)
中国和美国大陆地震构造的比较·····	马宗晋 高祥林 (3)
地球内部结构的地震学研究·····	臧绍先 (5)
全球定位系统(GPS)的进展及其在地震研究中的应用 ·····	赖锡安 (7)
地震预报研究中的新方法·····	冯德益 (9)
工程抗震的新领域—结构振动控制·····	张敏政 (11)

动力、成因、反演

二次驻波受迫共振与地震关系的研究·····	何安明 李 侠 (1)
用有限三角形模型法计算二维不均匀粘弹性介质的理论地震图·····	谌应春 (2)
用STEP-1系统处理台湾地震的一些结果·····	郑天愉 曹柏如等 (3)
震源深度对长周期体波波形的影响·····	曹柏如 姚振兴 (4)
辽宁两个地震区岩石圈特征·····	夏怀宽 卢造勋 (5)
华北北部壳幔介质结构的研究·····	于利民 刁桂苓等 (6)
我国东部地壳及上地幔的不均匀性及各相异性的研究·····	傅淑芳 曾燕青 (7)
壳内低速层对震源深度的控制作用·····	李秋生 (8)
地壳中间界面的某些特征及其反射波·····	董奇珍 李清河 (9)
福州—厦门地区岩石圈地球物理与地震活动性·····	廖其林 柯龙生等 (10)
中间CT中强不均匀体存在时的反演算法·····	吴建平 冯 悦 (11)
深源远震波形反演层状介质结构·····	宫培谦 高锡铭等 (12)
区域面波层析及其分辨率·····	傅淑芳 路 中 (13)
地球物理层析技术的研究进展·····	冯 悦 (14)
论东南沿海地震区(带)的现代构造应力场·····	魏柏林 (15)
用矿山冲击地压研究震源过程初探·····	刘万琴 郑治真 (16)
地壳运动与地震成因的探讨·····	周友华 (17)
华北强震活动的一种成因机制·····	耿 杰 (18)
华北地区应力状态与地震关系的研究·····	陈建国 马兴国 (19)
郯庐地震带地震活动分段性的初步研究·····	魏光兴 刁守中等 (20)

中国钻孔应变、应力测量区域特征初探·····	赵淑平 (21)
同步效应假设及其对晨光3#水位异常反映孕震过程探讨·····	彭钱礼 (22)
唐山地震区应力场和地震断层活动特征·····	薛志顺 杨海生 (23)
地震序列中环境剪应力的变化·····	陈培善 (24)
青藏高原的震源机制与板块构造·····	李鸿吉 王淑贞 (25)
中国大陆地震成因研究·····	黄礼良 (26)
震级与震源特征·····	阎志德 (27)
运用地球动力作用原理预测全球火山地震时间·····	张家祥 (28)
地震设想及断裂力学预测·····	刘长泰 (29)
从唐山地震地面增温异常看华北大震与板块运动的关系·····	徐秀登 强祖基 (30)
中国华北西南部分活动断裂面现今应国状态与断裂失稳变形的关系·····	栗海庆 (31)
我国地震震源机制解测定现状分析·····	许忠淮 汪素云等 (32)
华北地壳剪切带岩石中矿物优选方向与波速电导率 的各向异性·····	高平 母润昌等 (33)
珠江三角洲地区构造应力场的三维数值模拟·····	沈立英 (34)
大陆强震的地层变形屈曲互锁成因·····	许绍壁 (35)
北京地区1966年以来的震源机制和地壳应力场·····	刁桂苓 于利民等 (36)
利用应力方向反演西南及附近地区板块边界作用力·····	俞言祥 许忠淮等 (37)
长江三峡地区区域应力场及蓄水影响模拟研究·····	高士均 曹心传等 (38)
地壳岩石破裂的双概率渗流模型·····	彭自正 (39)
岩石应力引起岩石红外辐射变化的初探·····	邓明德 崔承禹等 (40)
局部地区强震活动中止的标志研究·····	苏刚 麻水歧等 (41)
华北断块区地震幕与大华北气温异常时空演化特征·····	陈有发 陶淑芬 (42)
地热活动与大陆地震的非均匀性·····	张之立 (43)
利用全波理论及数字化资料反演震源参数的几个影响因素·····	赵明 臧绍先 (44)
小笠原深震震源过程及府冲带的深部变形·····	臧绍先 赵明等 (45)
山西大震、强震发生的成因机制研究·····	阎维彰 (46)
岩石圈演化动力的立体网络结构·····	韩东银 (47)
大陆地震特征和孕震模型·····	罗肖兴 孙翠玉 (48)
临汾盆地两次8级地震的孕震过程模式·····	武烈 (49)
孔隙增压速率对岩石锯切面滑动行为影响的实验研究·····	李建国 宋瑞卿等 (50)
地球板场 ω 源移旋向运动·····	许汉杰 (51)
中国东部应力场与板块运动·····	虞廷林 (52)
川滇中强地震活动与强震关系·····	黄子波 (53)

危险性、区划、工程地震

水电工程抗震设防概率水准和地震作用的概率模型·····	陈厚群 侯顺载等 (54)
NONIE—一个土石坝非线性有效应力动力分析程序·····	李万红 (55)
利用影响烈度资料的危险性分析方法·····	金学申 赵 军等 (56)
I DNDR中地震区划的进展·····	陶夏新 郑广芬 (57)
基于GIS的《中国地震烈度区划图(1990)》计算机管理系统·····	陶夏新 郑广芬 (58)
土地震减灾工程中的一个重要参量—剪切波速·····	汪同韶 (59)
关于修正的均方根加速度性质的讨论·····	王虎桂 (60)
海水对海底地震动的影响问题·····	朱镜清 李金成 (61)
1976年滦县地震(Ms7.1)近场地震估计·····	罗奇峰 胡幸贤 (62)
辽宁核电站厂址选择中的地震参数研究·····	卢造勋 钟以章等 (63)
小江断裂带的震源分段、地震复发间隔及地震潜势的概率估计·····	闻学泽 (64)
打桩过程对毗邻建筑物的振动影响研究·····	邱陶兴 杨成林等 (65)
地震波作用下地下管线破坏的模糊随机分析·····	赵成刚 冯启民 (66)
底层柔性建筑的抗震控制·····	刘 季 闵书亮 (67)
汤阴地震南端的地震危险性及其震害估计·····	刘树章 常永安 (68)
地震强度、烈度、灾度的非线性关系及极震区几何分布形态的预报·····	樊 星 汪小东 (69)
强震关联性在地震危险性分析中的应用·····	黄玮琼 曹学峰等 (70)
大华北地区地震分布特征的空间分析·····	陈汉尧 胡幸贤 (71)

历史地震

东北历史地震研究与讨论·····	吴 戈 (72)
历史强震研究·····	闵子群 (73)
1411年当雄大地震史料的可靠性及考证·····	江在雄 (74)
历史地震的应用·····	吴开统 (75)
1290年宁城地震的研究和探讨·····	胡廷荣 吴 戈 (76)
华北历史有感地震目录编辑的技术思路与原则·····	刁守中 孙吉祥等 (77)
一种检验历史地震资料完整性的方法·····	高孟潭 (78)

新疆一次破坏性的中源地震·····	汪素云 时振梁等 (79)
历史地震完整性研究—以华北地区为例·····	黄纬敏 李文香等 (80)
中国历史地震研究现状与展望·····	卢振恒 时振梁 (81)
安徽省历史地震与发震构造的研究·····	吴树枫 (82)
1812年尼勒克8级地震的考察与研究·····	陈祥玉 (83)
山西省历史地震资料的新发现·····	齐书勤 (84)

对策、减灾

中国西部地震影响场特征研究·····	姚俊仪 杨天锡 (85)
地震预报的难题及减灾对策·····	雷中生 李秦梅 (86)
兰州震陷性黄土的地震工程特性与震害预测·····	李 兰 王 峻 (87)
石结构的抗震可靠度分析及减灾对策·····	林建生 (88)
天津市软土地基上建筑物震害与结构自振周期相关性的探讨·····	陈敦宜 王文国等 (89)
区域地震灾害环境系统多级模糊综合评价·····	张 骏 杜东菊等 (90)
江西地震灾害与减灾对策·····	郑 栋 (91)
确定地震烈度下供水系统受灾程度分析·····	赵成刚 冯启民 (92)
地震倒塌建筑物瓦砾堆积预测与图形显示·····	王际芝 冯世平等 (93)
震害预测专家系统·····	杨玉成 杨翠玲等 (94)
地震滑坡灾害的特点与减灾对策·····	陈丙午 (95)
地方地震部门实施综合减灾问题的研究·····	田宗均 (96)
冀中坳陷地区地震灾害对策·····	丁占英 (97)
叠溪地震次生水灾研究·····	苏克忠 周魁一等 (98)
马湖与马湖震害·····	韩德润 (99)
古浪大震的黄土滑坡灾害·····	邹谨敏 邵顺妹 (100)
都市地区地震保险对策的试点研究·····	林蓉晖 蒋 恂 (101)
经济发展与减灾对策·····	丁原章 (102)
我国大地震震害的航空遥感调查与评估·····	李志良 (103)
福建沿海城乡建设与建筑设计的抗震减灾对策·····	林建生 吕浩江 (104)
城市地震社会问题当议·····	陈非比 (105)
震灾的评估与分级·····	陈非比 王子平等 (106)

综合预报

山西中、强地震前兆特征研究·····	郭跃宏 李文英 (107)
中强地震前的重力变化·····	李瑞浩 李 辉等 (108)
几个大地震震前预报的实例·····	欧阳挺 (109)
流动重力测量在地震预报中的应用研究·····	贾民育 (110)
大同6.1级地震前后重力场的变化特征 ·····	王志敏 (111)
大同—阳高6.1级地震前山西地应力异常变化的分析及预报 ·····	赵英敏 (112)
大同—阳高中强震群的地磁短期空间演变特征·····	马森林 任锁宝等 (113)
重庆江北地震前兆统计分析·····	余国政 雷万明 (114)
论中国特色的地震分析预报科学思路·····	朱令人 李海华 (115)
我国大陆的大震趋势预测·····	王璠存 (116)
中国强震预报的基本途径·····	陈绍绪 李钦祖等 (117)
用系统论的观点建立地震预报的相关模式·····	张瀚涛 蒋 伟等 (118)
强震宏观前兆短临预报指标的研究·····	李荣安 祝 晖等 (119)
中国西部强震规律和当前形势·····	张治澍 (120)
地震现场预报专家系统(ESEFP/PC)·····	王 炜 庄昆元等 (121)
华北地区强震前兆异常的动态从属函数及其特征分析·····	郑熙铭 冯德益 (122)
地震学定量预报指标的一种提取方法·····	周翠英 蒋海昆等 (123)
辽宁省地震活动趋势分析·····	王国新 钟以章 (124)
政和—海丰带近年内地震趋势估计·····	陈秋英 (125)
中国南北地震带强震活动的周期分析与可能发生8级左右大地震的探讨·····	沈宗丕 (126)
大陆地震系列的分类, 特征及时、空分布·····	蒋明先 (127)
我国南北地震带强震活动的周期分析与可能发生8级左右大震的探讨·····	沈宗丕 (128)
中国大陆强地震的成组活动和概率预报·····	李钦祖 于利民等 (129)
地震综合预报的系统模型·····	马桂芳 王子义 (130)
1991年11月5日江苏射阳Ms4.7级地震的预测和前兆·····	张绍治 姜慧兰等 (131)

水位水化学

唐山市陡河5.1、5.3级地震地下水位异常特征分析·····	相里晨 (132)
--------------------------------	-----------