

地震学进展

Progress in Seismology Research

陈颢 朱力远

(国家地震局)

天然地震的历史几乎和地球的历史一样悠久。据统计,目前全球每年约发生500万次地震,其中有感地震5万多次,破坏性地震近千次,而7级以上强震亦近20次。在古代,地震的发生时常罩有神秘的光晕。如《新约·马太福音》中记述耶稣受难时的情景,便有“殿宇的帷幔从上至下裂为两半,大地震颤,磐石崩塌”。而西周末年的伯阳父,则把地震与王朝的兴衰嬗替联系起来,“今川突震,是阳失其所而填阴也。阳失而在阴,源必塞;源塞,周必亡”。

人类对地震的洞见肇始于中国。早在公元132年的东汉,张衡就发明了世界上第一架地震仪——候风地动仪,用以测定地震发生的方位。这一测量本身包含着一个重要的观念,即地震是沿一定方向从远处传来的地面震动。直至18和19世纪,这一概念才为英国的米歇尔(J. Michell)和马利特(R. Mallet)重新确认,被认为是地震科学发展的里程碑。

现代地震学的建立和发展则是近百年的事情。精密地震仪的制造为地震观测及其理论发展提供了科学的基础。本世纪上半叶,在确定震源位置、标定震级、判定烈度,以及地震波理论等方面有了长足进展。本世纪下半叶,地震的系统观测发展尤为瞩目,美国、日本、欧洲诸国以及中国先后建立了地震观测台网。特别是70年代以来,计算机、现代通讯技术以及数字磁带记录技术的应用,为地震学研究提供了大量的基本数据。

我国的现代地震学研究起步较晚。1930年左右才在北京鹫峰与南京北极阁建立了两个地震台。新中国成立后,由于建设的需要,地震学发展迅速。1956年中国科学院地震工作委员会出版了《中国地震资料年表》,它整理了我国3000多年的地震史料,为世界上最长的地震年表。同年,中国科学院地球物理研究所完成了第一幅中国地震区划图。1966年邢台地震的发生以及1971年国家地

震局的成立,促使我国的地震预测、预防和研究工作得以系统展开。

地震科学产生以后,就基本上沿着两个方向发展:一是利用地震波进行地下探测;二是研究天然地震的成因以及地震灾害的预测和预防。

地球内部的明灯

地球的半径为6 400公里。要洞烛地下的情况,最直接的办法莫过于打钻。目前世界上最深的井在苏联靠近北极圈的科拉半岛上,深度达12公里。倘使将地球比作一只鸡蛋,这口耗资巨大的井则连蛋壳都没有钻透。人类关于地球内部的知识主要来自对地震波以及由大地震所激发的长周期地球自由振荡的解读和破译。正如苏联学者伽利津所说,地震是照亮地球内部的一盏明灯。

当地震发生时,从震源辐射出各种类型的地震波。有些地震波通过地球内部传播,有些沿地表传播。从这些波的走时或频散性质,可以确定地球内部的波速和深度的关系。在传播过程中遇到界面时,将要发生反射与折射,于是这些界面的位置和性质就可以借助这些波中携带的信息加以界定(图1),甚至,还可以由此推断震源的性质——震源机制。通过对震源机制的研究,可进一步了解产生这种机制的地下应力状况。

我们关于地球内部结构的知识(如地壳、上地幔、下地幔、内核、外核)主要是通过提取地震波中所隐含的信息获得的。随着资料的积累以及观测技术水平的提高,人们对地下结构的认识愈加精细。目前,对球对称地球介质的速度、密度、弹性、重力和流体静压力的分布的大量研究已经导致初始地球参考模型(PREM)的建立。此外,地震波基础理论研究也不不断深化发展。

近年来,CT技术在地震波反演中的应用尤为引人注目。CT技术是一项反演技术,它根据物体

外部的测量数据,通过一定的物理和数学关系破译物体内部的物理性质。在医学诊断上,CT技术的成像可以使医生不做手术就知道体内器官的情况。1979年的诺贝尔医学生物奖授予科马克(Cormark)和霍斯菲尔德(Housfield),即为了表彰他们在CT理论和技术方面的贡献。无独有偶,1983年的诺贝尔化学奖授予了克鲁格(Klug),也是为了表彰他在电子显微镜中引进CT技术。

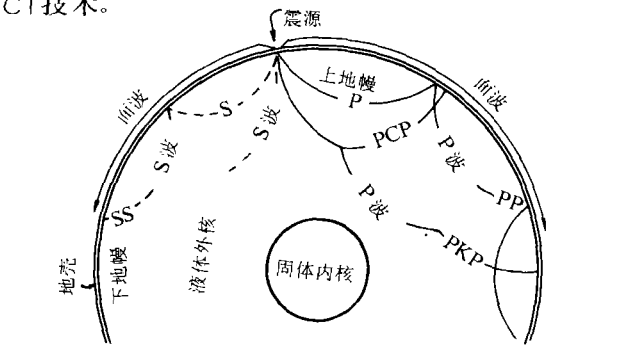


图1-1 当地震发生时,由震源辐射出的P波(纵波)和S波(横波)可以沿许多方向在地球内部传播。如沿表面传播的面波,经地面反射后继续传播的PP波和SS波,经地核外表面反射后的PCP波,穿过液体外核的PKP波等。不过S波不能穿过液态的外核。我们关于地球内部结构的知识主要是通过提取这些地震波中所隐含的信息而获得的。

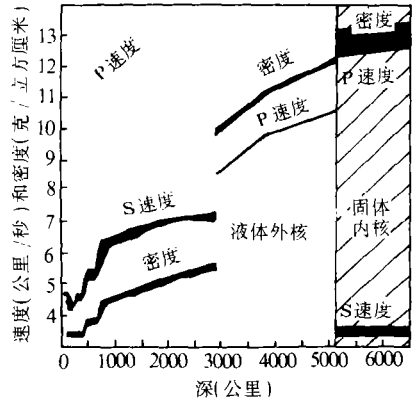


图1-2 由地震波资料得到的地球内部分层情况及各种深度下P波速、S波速和地球内部密度变化情况。

把CT技术应用到地震波反演上来的方法通常称为地震层析成像或ST(见本刊1991年第4期)。地震层析成像所取得的硕果使国外的地球科学家备受鼓舞,有人甚至认为这可能意味着地球科学革命的到来。地震层析成像技术加深了对地球内部横向不均匀性的研究。例如,在全球尺度的三维速度图像方面,安德森(Anderson)和德瓦斯基(Deiewonski)获得了一些有重要意义的结果,如在100~150公里深度的图像明显地与地表已知的构造特征相关,这实际上否认了传统地学中长期认为的地下100~150公里处横向基本均匀的假设,而300公里以下直至核幔边界的性质与

表面构造却无显著相关。在三维大尺度的速度成像方面,我国学者对中国大陆的研究也取得了有益的结果,如中国大陆及其邻近地区的地壳和上地幔速度存在明显的横向不均匀性等。至于区域尺度的工作更是成果斐然。地震层析成像的潜在影响远远超出地震学本身所关注的范围,并为地球动力学、岩石学、地球化学、油气勘探、工程建设等提供关键性的数据结果。

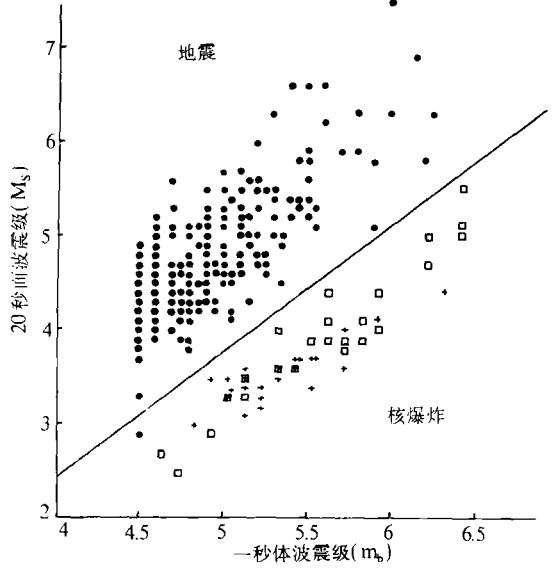


图2 地震学家常用地震震级来说明某一地震事件的大小。某一地震事件可以有几种震级,因为每种震级是以不同的地震波为基础确定的。在侦察地下核试验时,我们常用周期为20秒的瑞利波震级MS和周期为1秒的P波震级mb加以对比。从图中可以清楚地看出天然地震和地下核爆炸的明显区别。黑点代表383次天然地震,方块表示在美国进行的地下核试验,而十字则代表在苏联进行的地下核试验。当然,区分天然地震和地下核爆炸,上述对比MS和mb的方法只是许多种地震学方法中的一种。

天然地震的地震波照亮了地球内部,然而地震波也可以由人工的方法激发,从而寻找地下的地质构造特别是储油构造,这种勘探方法称为地震勘探。在所有的地球物理方法中,地震学方法提供了最高的分辨能力,而且也描述了地球内部结构的细节提供最大的潜力,这是地震学在商用物探方面起主导作用的唯一技术原因。目前,地震勘探从数据采集到处理解释都有长足进展,已形成了一套以多道数字地震仪以及大型计算机为基础的采集处理系统,加上水平迭加、偏移等处理流程和地震地层学、岩性地震学解释理论。然而,随着世界资源的日渐减少,工程勘探的难度越来越大,以平界理论为基础发展起来的一套地震采集处理成像解释系统已经不太适应要求,地震勘探正朝着解决隐构造和复杂构造、提高勘探效果的技术方面发展。此外,侦察和识别核爆炸产生的地震波

还是唯一有效的监视地下核爆炸的方法(图2)。第一个全球标准台网以及若干大孔径台阵,当初就是为核侦察而建立的。

地震灾害和地震预测

天然地震的成因及其预测研究可以说是地震学中的终极问题,它象狮身人面的斯芬克司一样守候在地震科学发展的必经之路旁。

自古以来,中国是受地震肆虐最为严重的国家。以下所列举的是中国历史上的部分大地震及其死亡人数。

年 份	地 点	死亡人数(估计数,单位:万人)
1038	山西	2.3
1057	河北	2.5
1290	内蒙	10
1556	陕西华县	83
1668	山东莒县	5
1695	山西临汾	3
1739	宁夏平罗	5
1920	宁夏海原	20
1927	甘肃古浪	4
1976	河北唐山	24

1556年陕西华县大地震时,“山川移易,道路改观。屹然而起者成阜,坎然而下者成壑,攸然而涌者成泉,忽焉而裂者成涧。民庐官廨、神宇城池,一瞬而倾圮矣”(明隆庆《华州志》)。1668年山东莒县、郯城大地震后流布的《灾民歌》有“举头不见眼前人,举头不见当时屋”,“颓垣败壁遍荒村,千村能有几村留?”1920年海原大地震的有感范围波及上海、香港,甚至越南海防的钟摆也因此停摆。而1976年的唐山大地震则是建国以来震灾最为严重的一次大地震。

全球的地震分布虽然是分散的,但也不是随机的。我国的破坏性地震大都聚集在一定的狭窄地带。按照地震活动性和地质构造特征,可以把我国划分成23个强震活动带(图3)。

有关地震成因的问题尚存争议。比较重要的有:断层成因说、岩浆冲击成因说和相变成因说。其中断层成因说最为人重视。60年代板块学说兴起以后,人们把地震分为板缘地震和板内地震。如著名的环太平洋地震带就属于板缘地震,它是全球最大的板块——太平洋板块和周围大陆板块相互作用的结果。而对人类胁威最大的则是发生在大陆内部的板内地震,前面所举的我国历史上的大地震都属于板内地震。

预测问题是人类面临的最为古老的问题。巫师、占星学家、幻想家、政治家以及科学家等都在

不同场合和不同程度上卷入过它的漩涡。地震预测可以说是人类面临的最为棘手的预测问题之一,它堪称世界性的科学难题。这是因为,首先,地震多发生在地下数公里至数十公里的深度,而目前的观测多在地表进行。其次,台站观测的是地面上极稀少的离散点的情况。往往发生这样的情况,地震前各个台站的观测量变化迥异,千姿百态,宛如盲人摸象,见有普遍特点的地震前兆却难以找到。再者,地震的突发性要求有解释突变现象的科学新发现作为其基础。

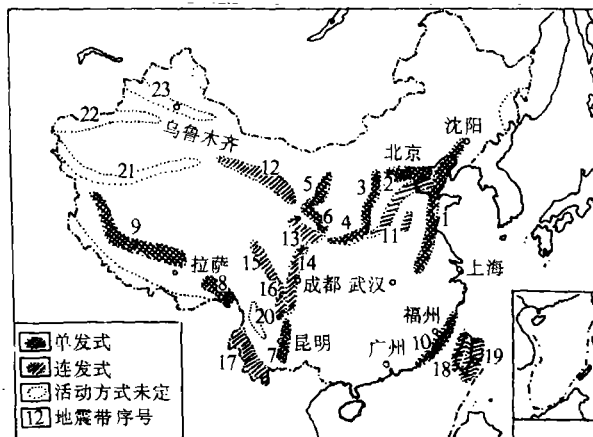


图3 我国地震活动带的分布图

单发式地震带:1. 郯城、庐江带;2. 燕山带;3. 山西带;4. 渭河平原带;5. 银川带;6. 六盘山带;7. 滇东带;8. 西藏察隅带;9. 西藏中部带;10. 东南沿海带。

连发式地震带:11. 河北平原带;12. 河西走廊带;13. 天水—兰州带;14. 武都—马边带;15. 康定—甘孜带;16. 安宁河谷带;17. 腾冲—澜沧带;18. 台湾西部带;19. 台湾东部带;活动方式未定的地震带:20. 滇西带;21. 塔里木南缘带;22. 南天山带;23. 北天山带。

目前预报地震的方法主要有两种,一是推理法,一是归纳法。

地震预报研究中的推理法,是通过研究震源物理和地震模式进行的。这是一种典型的学院式的研究方式。它从一定的理论前提出发,推导各种可能的前兆及不同前兆之间的关系,然后通过实践的检验来修改模式。目前,这种方法尚难对地震预报给出实用性的指导,然而它无疑是给出关于地震成因的本质性理解的重要途径。

归纳法是利用有限的地震震例,总结出经验性规律推广应用于未来的地震。一般说来,大地震发生之前是有异常现象出现的。这一点为许多文献史料以及对现代大地震的综合考察所证实。在地震的孕震过程中,会引起地球内部和表面的物理、化学量的变化,如小震活动变化、地磁异常、地电异常、重力变化、大地形变以及地下水位变化、地下水的化学成分变化等等,对这些异常现象的分析及提出的前兆信息是地震预报的基础。1975年辽宁海城地震就是用这种经验性的方法预报出

来的。然而这种经验性方法也有其局限性,其关键在于前兆机制不清楚。震前观测到的异常现象中,既包含了地震前兆信息,也包含了大量的噪音。异常不等于前兆。在某些个别地震出现的异常未必与地震有关,即使和某次特殊地震有联系,也未必是许多地震的共性。如何从异常中提取前兆,目前尚无办法。1976年唐山地震预测的失败,其原因也在于此。

结 语

天然地震是地球演化发展过程中的一种自然事件。然而,对于发生在人类栖息地的破坏性地震来说,它同时又构成了一个社会事件。现代地震学是一门以观测为基础的科学。在众多的地球科学中,地震学可以说是处于一个特殊位置。首先,它只同地球内部的力学性质和动力学过程有关。其次,地震波能够使我们最大限度地了解地球内部的情况。地震灾害的惨烈使人类不得不从事防震抗震以及地震预报的研究。有关地震预测成功的例子是稀少的,但是这并不能动摇地震工作者预测地震的使命感。19世纪尼采在其著作《查拉斯图如是说》中,曾把地震喻为诸神在大地的桌面上所掷的骰子,然而经过几个世纪的努力,人类已积累了大量的地震知识。虽然这些知识尚不足以完全揭开地震之谜,但曙色已显现在地平线上。我们能够预报一些地震,却不能预测大多数地震。虽然失败与成功并存的局面目前不会改观,但随着实践经验的积累,理论和实际工作的深入,取得成功的机会将会有所增加。

本世纪最后十年,是国际减轻自然灾害的十年,也是中国大陆地震活动呈起伏增长的十年。大陆地震多属于板块内部地震,其发生环境、孕育过程更为复杂,对人类的威胁也更大。这给从事地震研究的科学家既带来了机遇,更带来了挑战。地震研究已非单纯的科学问题,它同时兼有强烈的社会性。地震预报的高度探索性和对预报要求的迫切性这一点在中国尤为突出。可以预料,地震科学将会成为与其他学科交叉渗透最广泛、最深入的领域之一。

(责任编辑 宋义荣)

(上接第27页)

荫,形成世界性的大气候。

绿色市场的出现标志着人类正探讨、摸索一种同自己的生存环境和谐相处,同步前进的物质文明发展道路,它具有深远的意义。因此,它将会成长、壮大、完善、扩展。谁若是无视这一新生事物严肃的内涵和深远的意义,拒绝在企业决策管理思想上来一个相应的转变,并付诸实际行动,他就会犯下历史性的错误。有一天他会发现自己领导的企业竟是那么缺乏生存能力,他的产品难以挤

进成了气候的世界绿色市场,“外向型经济”将成为海市蜃楼;在国内,生态观也终有一天会走向社会化,广大消费者的生态觉醒也会引导他们抵制非绿色产品。到那一天,产品不符合生态学的要求也会成为企业破产、倒闭的根源之一。

绿色市场从端倪初露到形成气候,可能是个较长的过程;然而,工业发展与生态科学的结合融汇,企业决策管理思想的转变,生产技术的相应变革,并反映到合格绿色产品的普遍推出,这对一个起步已经滞后的国家或企业而言,则是一个相对更长的过程。如果不及早前瞻,及早起步,等到世界绿色市场形成了气候,自己的产品里外碰壁的时候才“急刹车”,“急转弯”,手忙脚乱,“狼抓”、“猛抓”,就为时太晚了。(责任编辑 蔡德诚)

(上接第49页)

函分析、拓扑学、张量与流形等课程,而这些课程过去只是数学专业的学生才学的。微积分则从大学移至中学学习。

我国目前的数学教育,小学和中学的数学课程内容大体上属于初等数学阶段;大学数学课程(如理工科的“高等数学”、“工程数学”、“数学物理方法”等)的内容大体上属于高等数学阶段。也就是说,接受了大学数学教育,大体上只是掌握了19世纪末以前的数学基本知识,对现代数学几乎没有接触。因此具有大学文化水平的许多科学技术人员对于阅读本专业的现代文献已感到困难。如果不掌握现代数学的基本概念和知识,则难以从事现代水平的科学研究。

如前所述,现代数学与经典数学相比,从研究对象、内容、方法到实际应用,都有许多新的特点。如果我们的数学教学还停留在经典数学阶段,既大大落后于现代数学和科技的发展,更不适应培养现代化人才的需要。80年代以来,在我国虽然已经开始注意和重视现代数学教育问题,然而实际进行的工作尚少。我们呼吁数学界的同行们,支持和扶植已经开始的一些有益的尝试和努力,群策群力,采用各种形式在大学生和科技人员中传播现代数学,并希望教育界、学术界和文化出版界等有关部门和领导都能来关心和研究如何在我国切实地逐步地加强和普及现代数学教育,以期在迎接21世纪到来的时候,把我国的数学教育提高到适应时代需要的现代化水平。

1988年夏在南开数学研究所举行的“21世纪中国数学展望学术讨论会”上由程民德教授作了主题报告。他在报告中详尽地分析了发挥我国数学潜力,使数学率先赶上世界先进水平的可能性和必要性;并从国民经济、高技术工业、决策科学以及人才培养等多方面的实际需要,说明“宏伟的现代化建设在呼唤高水平的现代数学”。

(责任编辑 蔡德诚)