

集成地震目录 数据库及其应用研究

010101010101010101
010101010101010101
010101010101010101

周成虎 裴韬 李全林 陈锦标 秦承志 韩志军 著

Database of Integrated Catalog of Chinese
Earthquakes and its Application



中国科学技术出版社
www.cnstppress.com.cn

Database of Integrated Catalog of Chinese Earthquakes and Its Application

集成地震目录 数据库及其应用研究

周成虎 裴韬 李全林 陈锦标 秦承志 韩志军 著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

本书受国家杰出青年基金项目（编号：40225004）资助

图书在版编目（CIP）数据

集成地震目录数据库及其应用研究/周成虎等著.

北京：中国水利水电出版社，2005

ISBN 7-5084-2741-6

I. 集... II. 周... III. 地震—目录—数据库系统

IV. P315.63

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2005）第 019755 号

书 名	集成地震目录数据库及其应用研究
作 者	周成虎 裴韬 李全林 陈锦标 秦承志 韩志军 著
出版 发行	中国水利水电出版社（北京市三里河路 6 号 100044） 网址：www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话：（010）63202266（总机），68331835（营销中心）
经 售	全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市兴怀印刷厂
规 格	787mm×1092mm 16 开本 10 印张 237 千字
版 次	2005 年 9 月第 1 版 2005 年 9 月第 1 次印刷
印 数	0001—1200 册
定 价	30.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社营销中心负责调换
版权所有·侵权必究

序

地震学是一门观测的科学。地震学的发展有赖于观测资料。系统、可靠、连续、完整的地震观测数据是开展地震学、地震地质、工程地震等诸多科学研究不可缺少的基础资料。中国悠久的文字记录中包含了丰富的地震记录。第一次有关地震的文字记载，可以追溯到大约公元前 2000 多年的舜帝时期。经历代续记，积累了数以千万计的历史文献资料，成为世界地震史料的瑰宝。系统整理和科学分析这些史料，成为中国地震科学研究工作者的历史职责。

地震学家们在新中国成立后开始了持续而系统的地震目录建设工作，从不同的学科角度对地震历史资料与地震仪器记录进行了大规模的搜集与整理，相继出版了 30 余种历史强震目录、地震历史资料汇编和百余种近代地震目录。例如，1954 年中国科学院地震工作委员会组织全国专家学者，追根溯源，去粗存精，对 8000 余种文献资料进行了综合，编辑出版了《中国地震资料年表》，奠定了中国地震目录数据研究的基础。1960 年，李善邦先生以《中国地震资料年表》为基础，进一步对 1900 年前的地震参数进行地震学分析，主持编辑出版了《中国地震目录》。20 世纪 70 年代中期，谢毓寿、蔡美彪先生就当时地震基础资料存在的问题，对历史地震资料开展进一步的考证与研究，并按远古至元时期、明时期、清时期、中华民国和中华人民共和国五个时期，主持编纂了五卷本的《中国地震历史资料汇编》。20 世纪 80 年代，顾功叙先生对原有的地震目录作了进一步增补，主持修订出版了新版《中国地震目录》（公元前 1831～公元 1969 年、1970～1979 年）。20 世纪 90 年代，为了编制第三代中国地震烈度区划图，中国地震局震害防御司在前人工作的基础上，主持编纂了《中国历史强震目录》（公元前 23 世纪～公元 1911 年）、《中国近代地震目录》（1912～1990 年， $M_s \geq 4.7$ ）等。在前人工作的基础上，李全林等整理、编纂出版了《中国地震各时期目录汇编》，汇集了公元前 780～公元 1984 年发生在中国境内及邻近地区的地震 30 余万条。总之，几代地震工作者历经 50 余年的不懈努力，建成了中国一系列空间范围、时间跨度、震级范围、数据精度不尽相同的地震目录。

为了满足预防和减轻地震灾害的社会需求，适应信息化社会地震研究的需要，大力推进地球科学数据的共享，原有的纸介质或文件形式的地震目录已难以满足当今全局化、数字化和智能化的需要，建立一个“时间跨度足够

长、空间范围足够广、震级频谱足够宽”的高质量地震目录信息系统已成为紧迫的需求。中国科学院资源与环境信息系统国家重点实验室和中国地震局地球物理研究所合作，以先进的数据库和网络技术为基础，综合整理了124种原本地震目录，对地震条目逐条进行查证、核对、比较与删重，历时十载，建成了中国及邻近地区集成地震目录信息系统，汇集了71万余条地震目录，时间跨度4000多年（公元前23世纪—公元2000年），空间范围覆盖中国及周边邻近地区，数据属性包括发震时间、经纬度、各种震级、参数精度以及数据来源等50余项。与在此之前的《中国地震各时期目录汇编》相比，该集成目录在数据的完整性、准确性和标准化程度等诸多方面都有了较大的提高。所建立的信息系统针对地震目录数据的特点，在数据库的界面、结构以及共享机制等方面进行了精心的设计与开发，使之更容易进行地震目录的查询、管理、共享和分析，为中国地震科学研究提供了一个坚实、开放的数据共享平台。

集成地震目录信息系统的完成，标志着中国地震目录的研究跨入了一个新的时代。它将有助于发挥中国地震目录数据的潜力，促进地震数据的共享，服务于地震科学研究与全社会的减灾救灾工作。

陈运泰

2005年4月于北京

前言

五千年悠久的中华文明留下了众多宝贵的历史地震描述记录,各种有关地震的史料记载汗牛充栋,除记载于各种史书资料、地方志外,还可见于碑文、庙记和家谱等各种文献资料;近代,特别是新中国成立后,地震台网的建设逐步完善,各种地震仪器的观测记录更是丰富而翔实,完整且可靠。面对这些优秀的文化遗产,中国几代地震学家前后经历了 50 余年的不懈努力,精心筛选,反复考证,整编出版了一系列地震目录 80 余种上千册、各类地震史料汇编和地震考察报告 32 种 40 余册,为地震科学研究与预报实践奠定了坚实基础。

虽然现存的地震原本目录版本众多、且各具特色,某些原本地震目录的质量较高,给出的参数值较为准确,但单种地震目录在时间、空间、震级等方面均存在一定的局限性,所提供的资料太少,从中可提取的信息也十分有限,不仅难以满足科研之需,且使用不便。随着地震学基础与应用研究的深入开展以及信息技术的发展和普及,越来越多的科学研究与社会实践迫切需要具有“时间跨度足够长、空间范围足够广、震级频谱足够宽、信息化程度足够高”的地震目录。

在浩瀚的地震目录资料中,由于目录编辑者的科学思路以及对资料掌握的详尽程度不一,不仅同一地震事件各种著作所列的地震目录参数互有差异,而且在数据完整性、数据精度等方面存在着不同程度的不一致性。因此,需要对各种原本地震目录进行汇总、编辑与集成。为此,中国地震局在 1989 年制定和颁布了《地震数据库系统技术规范》,陆续建立了全国综合地震数据库、区域数据库和专业数据库等。李全林、宋锐、陈锦标、庄灿涛等于 1991 年整理、编纂出版了《中国地震各时期目录汇编》。该集成目录在地震目录的数据量、数据准确程度、中强震的齐全性、参数的精度等方面都达到了较高水平。在进入 21 世纪之后,地震目录的集成不仅需要在时间、空间、震级范围以及准确程度等方面有所拓展,同时还在地震目录数据的信息化建设方面提出了更高的要求。

地理信息系统的发展和应用为开展集成地震目录信息系统研究提供了功能强大的基础平台。它不仅可以在统一的时空框架中组织和管理成千上万的地震目录,而且可以实现地质构造、地球物理等相关数据和地图的综合集成,进一步丰富地震目录数据库系统。有鉴于此,中国科学院资源与环境信息系

统国家重点实验室联合中国地震局地球物理研究所,启动了中国及其邻近地区集成地震目录信息系统的研究和建设工作。在王劲峰研究员的领导下,该项工作起步于20世纪80年代中期,并得到了国家“八五”攻关项目的支持,在历史地震资料的信息化方法和技术主面均取得了显著的进展。后有间断,建设工作暂时停顿。在20世纪90年代中期,周成虎研究员等通过多方努力,得到中国地震局地球物理研究所所长基金和资源与环境信息系统国家重点实验室开放基金的支持,并进一步充实人员,组建了资源与环境信息系统国家重点实验室地震数据工作组,全面开展集成地震目录数据库的建设工作。在最近的4年,又得到了国家杰出青年基金项目的支持,这项工作才得以初步完成,建成了“中国及其邻近地区集成地震目录信息系统”。该系统综合整理了124种原本目录,每条地震目录都经过了选取、查证、比较、删重、核对等一系列流程,确保集成地震目录中每条记录来源的可靠性以及参数的准确性。集成地震目录数据库共收集了公元前23世纪至公元2000年期间71万余条地震目录,空间范围包括了我国及邻近地区,数据库的属性包括地震的发震时间、经纬度、各种震级、参数精度以及数据来源等50余项。与《中国地震各时期目录汇编》相比,该数据库在数据量、完整性、准确性、标准化和信息化水平等方面都有了较大的提高。

本书以实用为目的,力求将地震目录信息系统的理论、方法与技术进行有机的结合。其章节安排如下:第一章讨论地震事件的时空表达,主要阐述地震有关参数的概念以及地震事件在数据库中的表达方法;第二章为我国及邻近地区集成地震目录的集成研究,主要介绍了地震目录集成过程中的难点以及地震目录集成的原则、流程,并对集成目录的精度进行了评价;第三章为集成地震目录数据库系统的设计与开发,详细介绍了集成地震目录数据库的数据模型、数据结构以及整个数据库系统的设计和开发思路,同时还对辅助数据库以及水库地震目录进行了介绍;第四章为地震空间分布特征分析,着重探讨了中国及邻区强震的空间分布格局及成因、地震带的提取方法、强震时空迁移的可视化分析方法;第五章为地震序列特征分析,主要针对地震序列的时、空分布特征、分形特征展开研究,并就强震前异常丛集模式的提取方法进行了探讨。

本项工作的开展得到了许多前辈和同行们的帮助与指导。首先要特别感谢中国地震局地球物理研究所所长陈运泰院士,在他的鼓励和支持下,这项

工作得以持续发展至今天；感谢中国地震局地质研究所马宗晋院士给予的学术指导，在参加他主持的全国性自然灾害研究工作中，获益匪浅；感谢中国科学院地质与地球物理研究所刘光鼎院士多年来的谆谆教诲和热情鼓励；感谢中国地震局分析预报中心的庄灿涛研究员、张国民研究员在工作上给予的支持和具体指导，以及对本书编写所给予的关心；感谢资源与环境信息系统国家重点实验室的王劲峰研究员对本项工作作出的贡献，感谢郝永平博士、蔡强同学等所开展的地震数据分析工作。

中国地震资料丰富程度堪称世界之最，集成地震目录信息系统的研究和发展任重道远。尽管我们尽心尽力、加倍努力地探索地理信息系统在地震目录研究中的应用，但所做的工作仍只是万里长征的第一步。本书中一定存在诸多不足，殷切希望同行、读者提出宝贵意见。

目 录

序 前 言

第一章 地震事件的时空表达	1
第一节 地震与地震灾害	1
一、地震参数	1
二、地震观测	3
三、地震序列	5
四、地震灾害	9
第二节 地震事件表达数据模型	10
一、空间数据模型与空间数据结构	10
二、地震事件表达的数据模型	11
第三节 地震信息系统研究	12
一、地震信息系统的组成	13
二、中国地震信息系统	14
第二章 中国及邻近地区集成地震目录	19
第一节 中国强震目录简评	19
一、《中国地震目录》	19
二、《中国地震历史资料汇编》和《1900~1980年中国 $M \geq 4.7$ 地震的均一震级目录》	20
三、《中国历史强震目录》和《中国近代地震目录》	20
四、中国地震台网地震目录	21
五、《中国地震各时期目录汇编》	21
六、《中国历史地震图集》	22
七、中国地震考察	22
八、中国主要强震目录简评	22
第二节 集成地震目录精度评价	25
一、地震目录不等精度	25
二、震级标度问题	28
三、地震目录系统数据完整性分析	29
第三节 地震目录数据集成的原则	32
一、以质量较高的原本地震目录为主体	33
二、合理选取强震参数	34
三、同一地震记录的主要参数值与测定精度取自同一文档资料	35
四、对重复地震记录择优取一	35

五、保留原本地震目录中震级标度的全部实测值并推荐使用震级	36
六、发震时间统一采用北京时间	36
第三章 地震目录集成系统的设计与开发	37
第一节 集成地震目录的数据模型与数据结构	37
一、地震目录的数据模型	37
二、集成地震目录的数据结构	40
第二节 地震目录集成系统设计与开发	42
一、系统需求分析	42
二、地震目录集成系统设计	44
第三节 集成地震目录数据库系统的实现	49
一、集成地震目录数据库的实现工具	49
二、集成地震目录数据库系统界面简介	49
第四节 集成地震目录的质量分析	52
一、数据准确性分析	52
二、实用性分析	53
第五节 新丰江水库地震	54
一、新丰江水库及其地质背景简介	54
二、新丰江水库地震目录	54
三、新丰江水库诱发地震研究的意义	54
第六节 地震目录辅助信息的集成	55
一、辅助信息图层的集成	55
二、辅助信息图层内容	56
第四章 地震空间分布特征分析	57
第一节 中国及邻近地区强震的空间分布格局及其成因浅析	57
一、研究数据的选取	57
二、中国及邻近地区强震分布的空间格局及其原因探究	58
第二节 地震带的提取方法研究	61
一、地震带分布的空间形态	62
二、Blade 算法及其改进算法	63
三、基于数学形态学的地震带识别方法	74
第三节 强震时空迁移分析	80
一、强震迁移现象	80
二、中国强震迁移方式研究	81
三、对强震迁移的统计分析	84
第五章 地震序列特征分析	91
第一节 地震序列时间分布特征研究	91
一、地震时间分布描述参数与模型	91
二、地震序列时间分布研究	93
三、地震序列时间间隔累积频数分布特征研究	97

第二节 地震序列空间分布特征研究	101
一、地震序列空间分布总体形态特征	101
二、地震序列空间距离频数分布特征研究	102
三、地震序列空间距离累积频数分布特征研究	105
第三节 地震序列的分形特征	107
一、多重分形理论及有关算法	108
二、多重分形分析应用	109
第四节 强震前异常丛集地震的提取方法	114
一、混合密度分解方法	115
二、小波分析方法	121
附录	130
参考文献	141



第一章 地震事件的时空表达

由于地壳的某一有限区域内在某一时刻能量突然释放,引起地壳内及地球表面弹性波传播,从初始破裂点开始,到破裂加速度达最高值和扭转力矩达极值,直至破裂终止,成为一次完整的地震事件。对于地震事件的描述和定量表达,要靠地震观测系统记录以及对包括震源区在内的承灾体进行宏观调查(如人员伤亡、建筑物损毁、城市生命线的损坏程度、地质现象等),还要进行社会地震学方面的调查。对地震事件来源如此众多的海量数据,必须基于一种适合的表达手段和数据组织途径,才能得到有效的集成,从而更好地服务于科研工作。

第一节 地震与地震灾害

地震,俗称地动,是地壳介质受多种作用力共同作用造成地壳介质运动的结果(国家地震局预测预防司,1998)。当地震发生时,地面会出现振动,严重时,会引起房屋倒塌、重大设施毁坏、人员伤亡等,形成地震灾害。

为了研究地震现象、了解地震机理、预测地震发生、减少地震灾害,地震学家们从强化地震观测基础、分析地震数据、评价地震灾害等多方面展开了研究。

一、地震参数

地震参数是分析地震观测记录的重要结果之一,是描述地震事件时、空、强等要素的定量指标。而地震目录以记述地震的发震时间、震中位置和地震强度等项参数为主要内容,因此对地震各项参数值测定的精度是衡量地震目录质量与置信度的重要标志。

1. 基本地震参数

地震发生于地球内部深处的某一空间范围内,但目前的观测、分析水平使我们常将地震发生的位置假设为一个点,此点称为震源,震源在正上方地表的投影点称为震中(国家科委全国重大自然灾害综合研究组,1993)。震源至震中的距离称为震源深度,一般用 h 表示,以 km 为单位;震中距观测站点的距离为震中距离,常以 Δ 表示;震中附近的地区称为震中区。

地震的基本参数一般包括地震的发震时间、震中的经度、纬度、震源深度和震级或地震波能量,其中前 4 个参数只需测量地震震相的到达时间就可以计算,因而称为运动参数;后 2 个参数需要测量振幅和周期,所以称为动力参数(巴特,1978)。

2. 历史地震参数的确定方法

历史地震泛指 1900 年以前在中国境内及邻近地区发生的地震。其基本参数值均从历史资料记载的描述中估计得出,所以误差往往较大。



(1) 发震时间的确定与误差

历史地震的发震时间一般以史料记载为主,并将相应朝代、帝号、农历换算为相应的公历。顾功叙(1983)明确指出,在将农历换算为公历时,考虑到地震研究工作的方便,又照顾史学界的需要,统一使用格列历(对1852年10月5日以前的地震,同时附注儒略历)和农历。由于只依赖历史记载,因此在不同历史时期发生的地震,尤其是早期的历史地震,同一地震的发震时间在不同的历史资料中常被记成两种以上的时间数值。对此类问题,《中国地震资料年表》(中国科学院地震工作委员会历史组,1956)和《中国地震目录》(顾功叙,1983)的编著者们做了大量的工作。虽然还有少部分地震的发震时间误差高达几年,但是大部分历史地震的发震时间已精确到月、日。

(2) 震中参数的确定与误差

对1900年以前无仪器记录的地震,一般以震害最严重的地方作为最可能的震中位置(顾功叙,1983)。由于史料记载多以县为单位,因此多取当时该县县城的地理坐标作为可能的震中位置;对于以州、府为单位记载的地震,其震中不易确定,故以当时州、府的行政首府所在地作为可能的震中位置;对于能绘出等震线图的地震,以最内圈的几何中心作为震中位置。震中位置的经纬度以度为单位,精度至小数点后一位。

由此可见,随着历史记载的详尽程度不同,震中位置的误差范围可能会有较大变化,甚至可达到 1.5° 以上。《中国历史强震目录》(国家地震局震害防御司,1995)给出的确定历史地震震中位置精度的方法是:按照记载的详细程度或最内圈等震线的范围大小确定其震中精度,并将震中精度分为5类(表1-1),大部分历史地震的震中位置精度为3类。

表 1-1 《中国历史强震目录》震中位置精度分类

震中位置精度分类	1	2	3	4	5
震中位置误差范围	$\leq 10\text{km}$	$\leq 25\text{km}$	$\leq 50\text{km}$	$\leq 100\text{km}$	$> 100\text{km}$

(3) 震级参数的测定与误差

确定历史地震震级参数的方法是:首先参照“历史地震烈度简表”依据历史资料评定出震中烈度(I_0);再按照烈度与震级(M)的经验公式

$$M = 0.58I_0 + 1.5 \quad (1-1)$$

得出近似震级;最后参考地震影响面积的大小,对震级作适当调整。由此可见,根据历史资料估计得到的历史地震震级,其误差大致为 $1/2$ 级(顾功叙,1983)。

3. 近代地震参数的确定方法

1900年以来,采用地震仪器观测记录来确定地震的各项基本参数,但因地震观测台网的控制能力随时间进程存在明显差异,因此近代地震目录是一组不等精度的观测结果。

(1) 发震时间

采用北京时间,即东经 120° 标准时间。



观考察的地震同时列出宏观震中位置。

对于面波震级 $M_S \geq 4.7$ 的强震,其震中位置的误差范围用震中精度表示(表1-1)。对于区域性小地震,其震中位置由各省地震台网测出,震中精度大多采用下列标准(表1-2)。

表 1-2 区域性地震震中误差分类

震中位置精度分类	1	2	3	4
震中位置误差范围 (km)	≤ 5	≤ 15	≤ 30	> 30

(3) 地震震级

地震震级一般采用仪器记录测定的面波震级 M_S 、 M_{S7} 表示,中、深源地震用体波震级 m_B 、 m_b 表示,近震震级用 M_L 表示,持续时间震级(尾波震级)用 m_d 表示,矩震级用 M_W 表示,彼此间不作换算。此外,1999 年中国颁布的国家标准中,对外统一发布的震级一般以面波震级 M_S 为准(国家质量技术监督局发布,1999)。

(4) 震源深度

震源深度一般由地震仪器进行测定,以 km 计。在浅源地震的深度范围内,依据现有测震学方法得出的深度,其误差范围可能较大。对于少数具有详细等震线的地震,可能据此给出宏观震源深度。

二、地震观测

1. 地震观测仪

地震学是一门观测科学,地震仪被用来观测震中位置、测量震级、判断震源深度(国家科委全国重大自然灾害综合研究组,1993)。张衡在公元 132 年发明的候风地动仪是人类历史上的第一台地震验震仪,并于公元 138 年成功地检测到发生在甘肃境内的地震。

第一台近代地震仪是意大利科学家 Filippo Cecchi 于 1875 年发明的摆式地震仪,可以记录两个分方向的地面运动,但由于它的放大倍数只有 3 倍,因此只能记录强震。自此以后,人们发明了各种地震仪:Milne 地震仪是第一台记录无感地震的仪器,Wiechert 地震仪是第一台有足够大阻尼的仪器,Galitzin 地震仪是第一台使用地磁式的摆和记录器的仪器,Wood-Anderson 地震仪是第一台用于记录微小地震的仪器(陈运泰等,2000)。

从 1875 年到 20 世纪 70 年代的 100 年中,地震仪所记录的均为模拟记录地震图。计时器在地震图上进行记录时,每间隔 1s 发射一个脉冲(称为分号)。根据这些分号可以计算地震波在地震图上的到时、周期等(中国科学院地球物理研究所,1976)。地震图上震相的性质,是以对比走时表并参考不同震中距离上出现的周期、振幅及位移方向等特征为基础而确定的(中国科学院地球物理研究所,1976)。

模拟信号的地震仪具有观测的动态范围小、频带窄、体积大等缺点,地震学家不断改进地震仪,特别是广泛采用微电子技术,发展数字地震仪,在全球范围内布置地震观测台站和网络,从而使地震学发展到一个新的阶段。

2. 全球数字地震台网



测系统,空间对地观测技术也在迅速崛起。全球实施数字地震台网的建设始于1975年美国加州大学地球和行星物理研究所的国际加速仪部署台网(IDA)和德国的Gräfenberg台阵。1981—1982年,法国实施了GEOSCOPE计划,拟在全球布置一个由30个永久台站组成的台网。1984年,美国57所大学联合成立了联合地震研究协会(Incorporated Research Institutions for Seismology),计划在全球布置100多个数字地震台,并已完成72个台站的布置。成立于1986年8月的数字地震台网联合会(Federation of Digital broadband Seismographic Networks, FDSN)是一个协调全球数字地震台网发展的国际性组织,旨在促进国际间观测数据的交流和提高全球数字地震台网的建设质量和观测质量。1987年日本提出了海神计划(Pacific Orient SEismic Digital Observation Network, POSEIDON),计划在西太平洋和东亚地区每个约 $10^{\circ} \times 10^{\circ}$ 的地区设置一个数字地震台。1989年,意大利发起地中海国家建立一个非政府间的国际合作组织MedNet,计划在地中海地区设立12~25个数字化地震台。1992年,德国的地球科学研究中心开始实施GEOFON计划,拟在全球建立一个由30个永久台站组成的台网。目前,全球已布置了近543个数字地震台(陈运泰等,2000)。

3. 中国地震台网

中国最早的仪器记录地震是1904年由法国人在上海徐家汇观测台观测到的。从20世纪30年代起,中国陆续建立起北京鹫峰、南京北极阁、四川北碚等地震台,但由于战乱大多没能维持连续记录。真正对测定地震基本参数起作用的中国地震台网是从1954年开始建立的。尤其是1966年邢台地震以后,在全国陆续建成了400多个地震观测台和10余个地震电讯传输台网。截至80年代,中国内地已建了约80个基准台、若干个地方台站和区域台网(国家地震局科技监测司,1990;焦远碧等,1990;卫一清和丁国瑜,1993),逐渐建立了多学科的地震综合观测台网,测震精度不断提高,保证了现代地震活动监测记录的完整性和可靠性(图1-1)。

20世纪70年代在地震观测系统中开始出现数字地震仪。数字地震记录以其所具有的宽频带、大动态、高精度、准实时、量化等特点很快成为地震观测研究的主要发展趋势。随着IRIS/GSN、GEOSCOPE、GEOFON等全球性数字地震台网,USNSN、CDSN、MedNet、POSEIDON等区域性数字地震台网,Gräfenberg、NORSAR等数字地震台站,以及PASSCAL、PANDA等流动数字地震台阵的陆续建立,地震记录的存储、复制、分析变得十分方便,宽频带、大动态的地震记录中也包含了模拟记录所没有的丰富信息(陈运泰和吴忠良,1999)。

中国在20世纪80年代中期与美国地质调查局(USGS)合作建立了全国第一个国家级的数字地震台网——中国数字地震台网(CDSN),通过二期改造使得台网的硬件、软件系统符合美国地震学联合研究协会(IRIS)在全球建立的数字地震台网(GSN)技术规范,CDSN已成为全球数字地震台网(GDSN)的一个重要组成部分。依据台站均匀分布(间距500km左右)并保证对重点地区加密观测的原则下,1996—2002年中国数字地震观测系统已完成了包括47个国家数字地震台、33个区域数字地震台、21个区域遥测数字地震台网(238个台站)以及流动数字地震台网等多个层次的国家数字地震监测系统的建设(庄灿涛,2003)(图1-2),并实现了观测信号的卫星传输(图1-3)。



图 1-1 中国测震台分布(国家地震局科技监测司, 1990; 台湾资料暂缺)

图 1-4 显示了中国地震台网的监测能力。该图的绘制是基于以下的标准: 对于近代地震, 一般根据地震台站分布和仪器放大倍数确定最小完全性震级。理论上讲, 地震台站数 $N \geq 3$ 时可得出一定精度的地震参数, $N \geq 4$ 时可得出震源位置的观测误差。一般情况下, 取 4 个以上地震台可共同观测到的地震活动范围内的最小地震为该地震监测范围内的最小完全性震级 M_L , 从而得到中国地震台网监测能力图(王伟等, 1997)。

以对首都圈地震的监测能力为例, 首都圈地区数字遥测地震台网的测震台站达 107 个, 台网密度达 7.13 个/万 km^2 (图 1-5)。首都圈地区地震监测能力达到 $M_L = 2.0$, 其中北京市、天津市、石家庄市的监测能力可达 $M_L = 1.0 \sim 1.5$ (图 1-6)。

三、地震序列

1. 定义

人们经过对地震长期的观测与研究后发现, 地震的发生在空间和时间上呈现明显的疏密变化, 具有丛集的特征。一个较强地震发生后, 在其附近就有发生更多地震的可能。地震工作者把这一组在空间和时间丛集发生的地震称为地震序列 (Earthquake Sequence)。

目前, 地震学家对地震序列尚未形成统一的定义。例如, 陆远忠等 (1985) 认为, 在时间上很集中 (几天到几年), 在地点上处于同一震源体内 (几公里到一二百公里) 的一系列地震为一个地震序列, 一个地震序列中的地震是孕震末期震源体内发生的多次断层失稳扩展的结果; 吴开统等 (1990) 认为, 通常所说的地震序列是指狭义的地震序列, 它是指在一定空间范围内和时间段内连续发生的一系列大小地震, 且其发震机制具有某种内在联系或有共同的发震构造的一组地震的总称。

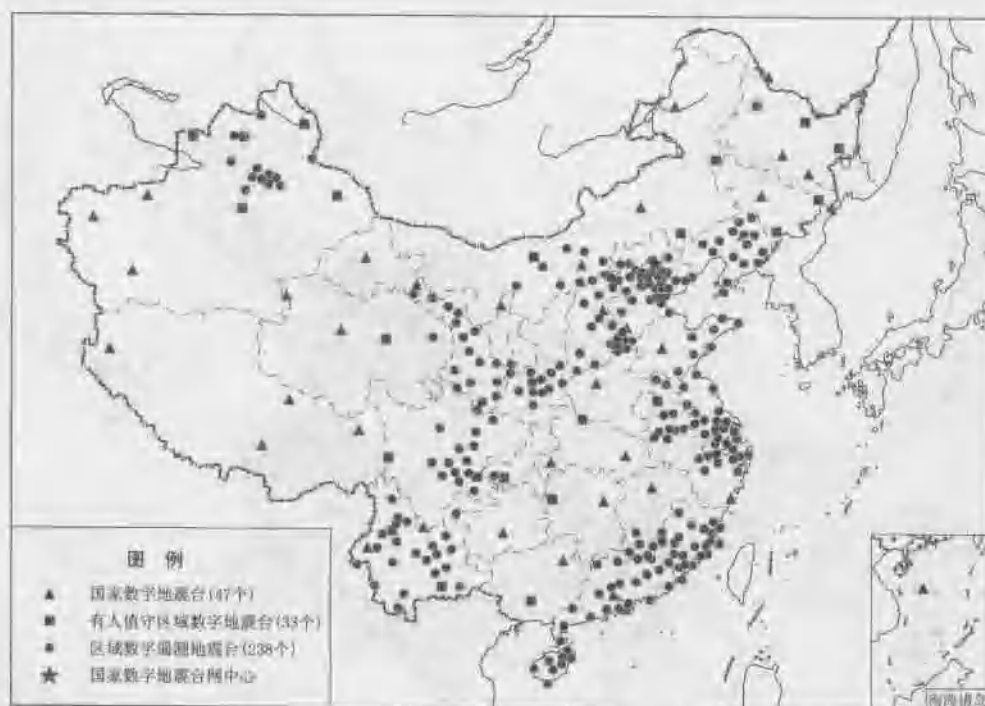


图 1-2 中国的数字地震台站分布^① (台湾资料暂缺)

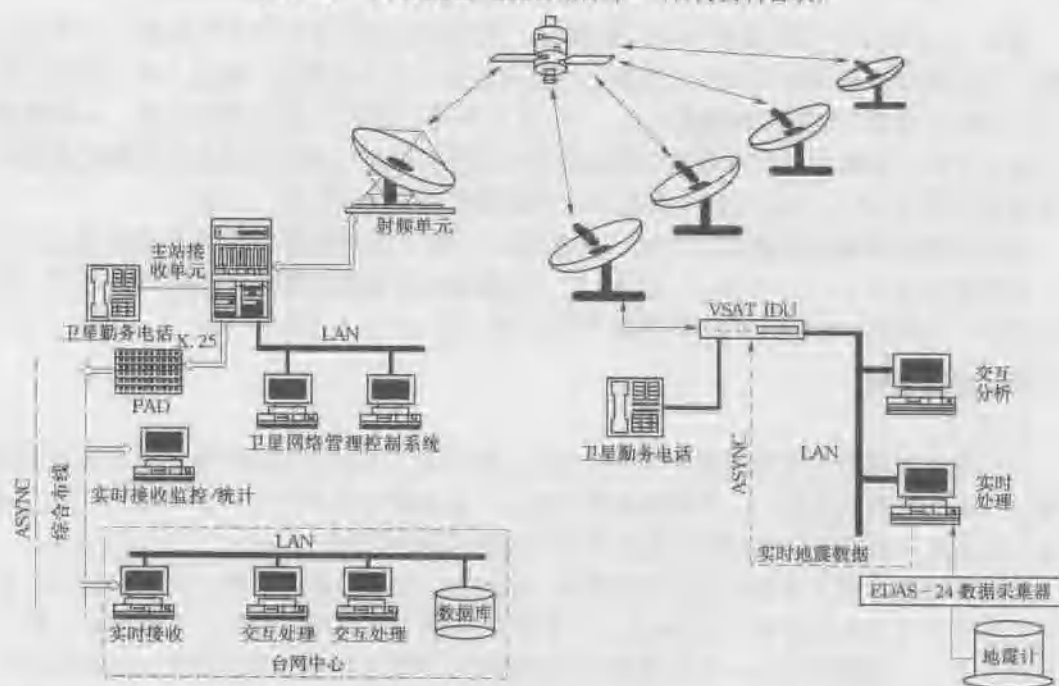


图 1-3 国家数字地震台网卫星通信系统示意图^②

①② 由中国地震局地震预测研究所任灿涛提供。