

国际地震论文专辑

84—3 (总6)

# 地震观测技术

国家地震局情报资料室

一九八四年

## 编 者 的 话

国家地震局情报资料室根据地震科研的需要和广大科研人员及台站工作人员的需要，经过研究和协商，决定由我室主办《国际地震论文专辑》。初步拟定出八个专辑：

1. 中、日、苏、美地震预报研究计划与现状
2. 地壳形变与地震
3. 第四纪活动断层与地震活动性研究
4. 地震观测技术
5. 地震小区划研究
6. 地应力与地震（I, II）
7. 地震震级研究

论文专辑主要反映本学科最新研究现状、进展，介绍其新理论、新方法和新技术。每个专辑所收集的论文是经过严格挑选的，基本上达到内容新、有代表性。在专辑中有综述文章，有的专辑后附有近期该学科主要论文目录，为地震科研人员提供了比较系统完整的参考资料。

本专辑为《地震观测技术》。它收集了近几年日、美、苏等国有关地震及地震前兆仪器方面的论文，重点介绍了测震仪器及其数据处理系统和振动实验装置。本专辑基本上反映了近年来国外在地震观测技术领域的现状和动向。对于了解当前国外测震技术和仪器研制有一定的参考价值，可供地震部门、地震台站以及从事地震仪器研制方面的研究人员、观测人员参考，大专院校有关地震等专业的师生参考。

本专辑由国家地震局情报资料室组织协调、上海地震局情报资料室负责组稿工作。

八个专辑预计今年陆续出齐。

---

责任编辑 卢振恒 王晓平 李桂莲 傅木行

# 目 录

## 综 述

地震观测技术发展展望

.....章文 ( 1 )

日本海底地震仪及其主要观测成果

.....潘元振 卢振恒 ( 5 )

## 测震仪器及其数据处理系统

在EC—1030型电子计算机上收集、处理  
和储存地震资料的系统

.....A.И.扎哈罗娃 M. П.巴尔明 ( 13 )

ASP: 微震台网地震自动处理机

.....T.V.麦克埃维里 E.L.迈耶 ( 20 )

目前美国新一代的数字地震记录器  
及DSP系列数字回放系统

.....张利 原秦喜 ( 27 )

具有宽动态特性的宽频带地震观测系统的设计

.....桥爪道郎 松井哲司 ( 35 )

拉科斯特—隆贝格直线重力仪及其场地测试

.....Lucien LaCoste H.D.Valliant ( 37 )

## 地震前兆仪器

岩石声发射活动性凯塞效应的试验装置

.....金川忠等 ( 45 )

电子测距仪的可靠性

.....伊泽伦一郎 森田吉晃 ( 50 )

无真空管式激光地应变仪

.....Tadanao Ohishi, Shoichi Seino ( 69 )

摆式双轴倾斜仪

.....Г.А.古谢夫 A.Б.马努金 ( 73 )

应用钻孔倾斜仪的地壳倾斜观测方法的进展

.....佐藤春夫 高桥博等 ( 76 )

井下高精度石英温度计

..... 岛村英纪 ( 85 )

第二代Gough—Reitzel地磁仪

.....F. Küppers H. Post ( 92 )

观测长期变化的超低速记录仪的研制

..... 岡田义光 平田安广等 ( 97 )

研究现代地壳运动的仪器

.....А. А. Генике, Я. В. Намов ( 102 )

电阻率变化仪的遥测系统

.....山崎良雄 ( 105 )

便携式液体闪烁计数管的试制

.....佐藤纯 高桥春夫 ( 110 )

振动实验装置

标定摆式地震计的双分量振动台

.....H. E. 费多谢延科 A. C. 杰尼斯科夫 ( 113 )

获取超低频机械振动的一种方法

.....P. E. 萨尔基相 Г. P. 阿韦季相 ( 116 )

其它

1981年以来经国家地震局鉴定的主要的地震仪器简介

..... ( 118 )

## 地震观测技术的发展与展望

地震学是一门观测性很强的学科。在开展各种研究工作时，首要的就是要获得准确的、可靠的、连续的基本观测资料和数据。因此地震观测技术在地震学发展中起着重要的作用。在台站或台网的布局和场地选择等方面、观测方法的研究和观测系统性能、观测系统的配置和某些特殊专用仪器设备、实时和常规的数据处理方法的研究和程序、实时和常规的数据处理系统的配置和某些专用处理设备等方面，国内外的地震科学工作者，在近二十至三十年来做了大量工作，取得了许多成果，促使地震观测技术前进很大的一步，甚至可以说，在某些方面产生了新的变化。因此，观测技术的发展，在很大程度上推动了地震学的发展。现在仅就一些国内外进展情况及今后的发展趋势作一介绍。

### 一

为研究世界性和全国性的地震学课题，世界上许多国家，在这二十多年来建立了许多台网和台阵。由于新技术的不断涌现和很快应用于地震观测技术，故观测系统的更新期较以前大为缩压。如美国在六十年代期间建立了一个分布在世界各地、由125个台站组成的世界标准地震台网（WWSSN），在六十年代末又建立了高增益长周期地震台网（HGLP）。在一九七五年后陆续建立地震研究观象台（SRO）。目前又在建立数字记录的世界标准地震台网（DWWSSN），逐步建立起一个由1个高增益长周期地震台，5个简易的地震研究观象台、13个地震研究观象台、和17个数字记录世界标准地震台组成的全球数字地震台网（GDSN）。此外为记录超长周期地震波、地球的自由振动和固体潮（记录频带由 $10^{-6}$ 赫到 $10^{-2}$ 赫），美国计划并正在实现在全世界范围内布设15个用拉科斯特—龙贝重力仪配以电容换能器和静电反馈，采用数字盒式磁带记录方式的部署国际加速度计台站（IDA）。根据中美地震合作计划，将在我国昆明台上安装该种仪器。法国原子能委员会在法国本土布设了一个由28个台站组成的大孔径无线传输短周期地震台网。西德也在其南部布设了一个由13个台站组成的有线传输宽频带地震台网。日本在其全国范围内布设了一个对3级以上大、中、小地震进行常规观测的、由118个台站组成的全国地震台网。其它如苏联、加拿大、瑞典、芬兰、瑞士、新西兰等国家均各有其台网在运转着。

在台阵布设方面：美国在五十年代建立了一些小尺度的实验性台阵，取得了一定的经验。于是在六十年代期间，在美国东部蒙太那州建立了一个大孔径地震台阵。通过几十年的工作，该台阵对发生在全球范围内的事件的检测阈值约为4~4.5级，定位精度一般在100公里，最好的是25公里。由于该精度满足不了核侦察的要求，而该台网的年进度费用很高，故美国已决定该台阵停止工作。目前美国在运转着的较大台阵是建在挪威的诺萨尔（NORSAR）台阵和建在阿拉斯加的长周期地震台阵（ALPA）。其他还有加拿大的黄刀台阵等。

在这些台网和台阵中，特别在七十年代期间国外建立的几个台网中，引用了多种先进技术：如计算机技术、大规模集成电路技术、超低电平，超低频信号放大技术、信号传输和记录技术、反馈技术和数字信号的各种处理技术等，使观测系统的各项性能指标大大地提高了一步，为地震学和地球物理学的研究提供了大量的、前所未有的高质量原始数据。

我国在建国以来,由使用51式地震仪开始,经基式地震仪,电子放大地震仪一直到DD—1, DK—1地震仪,建立了24个基准地震台。记录短周期和中周期的地震信号。长周期地震信号的记录,目前已有763地震仪,正在架设中。从总的情况来说,这样的一组台网,在我国地震研究和地震预报工作中是起了相当大的作用的。但与目前世界先进水平来比,有较大的差距,如动态范围低。光记录或墨水记录,从使用运动学参数来看还可以,但对进一步使用动力学参数就显得很不足。当然不是所有的台站均要求改装成最先进的,但要有适当数量的台站也是应当的。

## 二

为了研究区域性的地震学课题和开展地震预报的研究工作,目前世界上有许多国家均架设了区域地震台网。这类台网的最大特点是采用遥测技术。将分布在某一区域内几个甚至几百个无人值守台站上的地震信号传输至记录处理中心。这样做的优越性是:1.数据能实时、快速采集和处理。2.可用同一个时间服务系统,因此能提高震源参数的测定精度。3.选择台址可根据布局的需要而不必太多地考虑生活问题故一般可降低检测地震的阈值,提高了整个台网的使用价值。在这些台网中,有一种是使用无线或有线的模拟调频方式,将台站上的模拟地震信号传输至记录处理中心后,一方面用模拟磁带机和可见记录器将信号记录下来。另一方面则经多道模—数转换器,将模拟地震信号转换成数字后,送入计算机内作各种处理。如美国地质调查局的门罗公园研究中心,在中加利福尼亚州5千平方公里内,安装了250个台站。记录处理中心设在门罗公园。这就是这种台网的一个例子。另一种是使用无线或有线的数字遥测方式,将模拟地震信号,在台站上就转换成数字,而后传输至记录处理中心,直接送入计算机内进行处理。如日本名古屋大学理学部的由12个台站构成的台网就是这一种台网,由于在台站上采用自动增益调节的模数转换器,将模拟信号转换成数字后进行传输,故传输通道的噪声,在一定范围内,对信号质量是不产生影响的,且即使有错误,也可用纠错的方法来纠正。故动态范围比模拟调频方式高很多。一般模拟调频方式的动态范围约为40~50分贝。而数字传输方式则可达100分贝以上。

最近美国的门罗公园研究中心,考虑到由于台站数目很大,且今后当需增加,在线实时传输来的信息量非常庞大,看来在中心用一台电子计算机来进行集中方式的实时处理将成为不可能。同时考虑到由于用一台电子计算机来处理那么多信号,一旦计算机发生故障,就使整个台网失效,即系统的可靠性很低。为此研制了用一台微处理机来实时处理八个台站的地震信号(即地震检测,P波到时拾取等)的分布式处理系统。这样一来原来的小型电子计算机的负担就大为减轻,仅在在地震时,输入了由微处理机拾取的各台P波到时后,确定地震参数就行了。为此门罗公园的研究中心发展了一种用单路地震信号来检测地震和拾取P波到时的方法和程序。

以上是国外的大致情况。国内在五十年代末期也架设了一些有人管理的区域地震台所组成的区域地震台网。如北京地震台网等。一九六六年邢台地震后,在北京架设了由8个无人值守台站组成的有线遥测地震台网,以后逐步由实线传输单分向短周期地震信号发展至采用模拟调频方式经话路传输三分向短周期地震信号。信号传至中心后进行可见记录。由人工读取记录图上的数据进行各种处理。最近由国家地震局组织的768工程就是要在这种基础上,不仅采用有线而且根据情况采用无线或无线有线结合等方式来传输不仅短周期地震信号,而且还有中周期和长周期地震信号以及各种前兆信号。在中心不仅有可见记录而且有模拟磁带

记录。采用电子计算机系统对地震信号进行在线的实时自动处理和人-机结合处理。该项工程目前正在上海地震局全面联调。北京、成都、昆明、兰州、沈阳等台网目前也已初具规模。另外国内也有为研究水库地震而架设的地震台网。如新丰江水库地震台网采用无线遥测方式传输信号至中心。在淮北地区，为监视震情，安徽地震局架设了一个由5个无人值守的、单分向短周期地震台站组成的无线遥测地震台网。中心在蚌埠。将来拟用无线中继接力的传输方式，将地震信号由蚌埠传至合肥局所在地。

### 三

为临时或流动观测局部地区的地震活动性、强地震后进行余震观测、以及进行地震测深工作等，国外发展了一些流动地震台站和流动地震台网用的观测系统。

在流动地震台站用的观测系统中，除已有沿用的、需人值守的滚筒记录计，有以前曾研制过的并且目前仍在使用的无人值守的、采用直接记录法，在慢速磁带机（由一般磁带机改装而成）上，连续记录模拟地震信号和采用调频法，在一般磁带上，触发记录模拟地震信号等。这些磁带记录的动态范围是不高的，一般由30分贝至50分贝。最近几年已发展到采用盒式数字磁带记录。这种设备在美国就有五种。其中有三种采用微处理器来进行事件检测（使用短、长时间平均之比的方法和地震信号特征法等）。一旦检测到事件，就启动磁带进行记录。由于机内有存储器，故不会丢失初动信号，但也可连续记录和预先设定的自启动和自关闭记录。一般一台设备可记三路至六路信号。动态范围最高可达115分贝。功耗在磁带机不工作时，约为1瓦左右。重量约20公斤左右。

在流动地震台网用观测系统方面，以前也均使用无线模拟调频方式，将观测点的地震信号传输至临时观测中心。最近也已逐步发展至使用数字传输方式。如上述美国生产几种盒式数字磁带记录器，机内均装有传输用接口，供无线或有线传输信号用。另外在临时观测中心也采用了微处理器技术来实时处理地震信号。如美国加利福尼亚大学伯克利分校的地震实验室布设了一个由15个台站组成的地震台网。采用无线遥测方式将各台站的地震信号传输至中心。而后每一个台站的信号各有一台微处理器来进行检测，拾取初动到时，用快速傅氏变换算出波动的振幅谱等，然后再用一台微处理器来进行地震参数的测定和利用振幅谱的平坦部分以及拐角频率计算震源函数。原始数据则不保存。

国内在流动地震台站观测系统方面，目前仅有需人值守、单分向或三分向滚筒记录的地震仪。这与国外相比，差距是很大的。

### 四

为了研究处于强地震活动区内大工业城市地区内及其周围的地震活动情况，由于地面干扰很大，故观测灵敏度不能提高，以致严重地影响对微震资料的获得，为此在国外，如苏联、日本等就开展深井观测。苏联从一九七一年起在阿拉木图市附近陆续建成了一个由三个深井地震站，二个地表地震站，二个移动地震站组成的、采用无线模拟调频方式传输信号的地震台网。井内放有单分向垂直向地震计（型号为CBY—B）和前置放大器。其余设备均在地面。七个地震台站的信号经传输至记录中心后，用笔尖记录器和模拟磁带记录进行记录。

在日本东京附近地区内，日本的国立防灾科学技术中心总共钻了三口井。一口井在岩槻，深度为3510米。一口井在下总，深度为2330米。另一口井在府中，深度为2750米。在这

三口井内装有三分向微震仪、三分向加速度计、倾斜计和温度计。井下各种信号，采用多路调频方式，经电缆传至地面。在地面一方面进行本地记录，另一方面则再经电话线路传输至国立防灾科学技术中心本部进行各种处理。井下的微震观测灵敏度可比地表大四个量级（在地动频率10赫处，井下观测的放大倍数可达 $10^4$ 倍，而地表观测只能达100倍。

国内的深井地震观测工作，从七十年代中期即行开始。目前已在三口深度为千米附近的井内安装了三分向短周期地震计。井下信号也采用多路调频方式经电缆传至地面进行墨水可见记录。另外在京津台网和上海台网内，也有十几个深度由200米至500米不等的井下地震观测台。井内装有单分向垂直向或三分向短周期地震计，信号经电缆直接由井下传输至装在地面上的地震信号传输设备，再经电话线路传输至台网中心。从所得的记录来看，井下观测对提高观测灵敏度是很有利的。某些看法与苏联学者的看法有类同之处。但尚有许多问题需深入进行研究。

## 五

一、随着采用反馈技术、使用各种高性能指标的器件和材料，将研制出体积小、重量轻而动态范围大、频带宽（0.001~1赫）的小型地震计。供野外流动和井下观测用。

二、使用微处理器技术（目前国外市场已有16位的微处理器出售，而不久即可有32位的微处理器出现，其功能将大大超过目前的小型电子计算机）、大规模存储器（如CMOS存储器国外已有单片容量为16千位的。又如磁泡存储器，国外已有容量为40兆位的）以及超低电平放大器件（如国外已有失调电压为2微伏，失调电压漂移为0.001微伏/度的运算放大器）等，将研制成把地震信号调节、能进行复杂的实时数据处理以及用静态固体存储器来替代具有活动部件的磁带记录器的一套地震信号采集、处理和记录的设备。而在体积、重量，功率等方面将达到很高的性能指标。

三、在地震信号的传输方式方面，将由目前采用的连续传输方式逐步过渡到触发传输和用中心呼叫方式进行传输，以便更有效地提高通信信道的利用率和节省维护费用。

四、在实现上述几点的基础上，将能逐步地研制出智能化程度很高的智能地震观测系统。目前利用人工或人一机结合或由计算机需在中心进行数据处理后才能得到的处理结果，很大部份就将在地震台站上，由这种智能地震观测系统来处理而得到。这就为根据地震学和地震预报研究的需要，大量布设台站提供了极为有利的条件。实际上也就是把目前靠中心的计算机，对台站数据进行集中式处理，改为分布式处理。一方面提高了整个观测系统的可靠性，另一方面也就使大量数据进行快速处理成为可能。

总之，随着新技术、新器件、新材料的不断涌现，将促使地震观测技术在八十年代有一个更进一步的发展。



# 日本海底地震仪及其主要观测成果

## 一、前言

日本是一个多地震的岛国,日本的破坏性地震约70%发生在千岛海沟、日本海沟和南海海沟的海底,而且巨大地震几乎都发生海区,地震时常伴随发生巨大海啸。同时,近年来在固体地球物理方面,海底扩张和板块构造学说发展很快,迫切需要调查海底的构造及其物理性质,特别是海底上地幔的构造。以前调查海底上地幔,是在陆地上观测和分析经过海底的面波,但使用面波的方法解像能力差。在海底建立必要而又充分的地震观测网就能知道海底的纵波和横波的速度结构,特别是低速度层附近的结构,这是研究海底扩张的关键所在。日本出于上述两方面的需要,对研究各种类型的海底地震仪和进行海底地震观测非常重视。这方面,目前日本在世界上居领先地位。在仪器的研制上积累了丰富的经验,并取得了不少引入瞩目的成果。本文根据资料,综述如下:

## 二、日本的海底地震仪

日本早在一九五九年,地震研究所的岸上冬彦教授就使用光学胶片记录器进行研究,但它只能用于水深200米以内的海底。六十年代中期开始,地震研究所的仪器研究小组研制磁带记录器,在深海进行了爆破地震观测。从1974年起,耗费巨资,在大地震预测地区的东海近海敷设海底电缆,设置了世界上首创的台阵式实时海底地震仪系统,为东海地震预报提供观测数据,使海底地震观测进入了新阶段。

### 1. 海底地震仪的类型及其特点

海底地震仪大致分为链定浮标式、自浮式、海底电缆式、人造卫星式四类。其概况、优点、缺点如表所示。

海底地震仪的类型

类型	链定浮标式	自浮式	海底电缆式	人造卫星式
概况	从观测船上把海底地震仪用绳索设置在海底,绳索的一端系在锚上,然后与表面浮标连接。在海底进行自动观测。观测结束后用绳索回收重放记录进行研究。	从船上把海底地震仪投入海中,通过自由下落设置到海底,进行自动观测。预定时间一过,即开始回收,回收时将锚与耐压容器的连接切断,以自己的浮力上浮,回收后重放记录进行研究。是一种离线型方式	把地震仪、海啸仪,水听器传感器以及传输数据的收发设备装进耐压容器,设置在指定地点,用电缆与陆地台连接,传输数据,遥控和供电。观测数据从海岸台通过无线电或有线传输到中央数据中心记录分析处理。	在海底设置地震仪传感器,通过电缆与海面浮标构成有线传输线路,再通过人造卫星作小型中断站,用无线电把信号从浮标传输到中央数据中心记录、分析处理。

特点	海底地震仪与海底在力学上的连接良好, 易在海上识别它的存在, 回收的可靠程度高。	机动性好, 能进行流动观测, 小型, 廉价适合于联合观测, 可以用小型船舶(100吨级) 敷设, 作业简单, 天气变化不会造成损坏, 常在研究性观测中使用。	可以获得实时数据, 为地震预报提供信息。能够进行连续观测, 并可组成阵列式海底地震仪系统, 将来可扩建成综合的地球物理观测设施。	可将太平洋上全部观测数据集中于一个地面接收中心, 也能获得实时观测信号。
缺点	需要使用大量绳索, 价值较高, 要用大型船舶(1000吨级) 数据传输困难, 浮标会给航行船舶带来困难, 风浪大时会损坏。	海底地震仪与海底压力学上的连接存在问题。投放、发现、回收等技术尚不十分成熟, 回收时间较长, 自浮装置失灵就无法回收。	价格高昂, 需要大量的电缆, 并需要大型敷设船, 不宜在深海进行观测。	受到电源容量和卫星的数据传输容量的制约。连结海底和浮标间的电缆很长, 在2~3个月会折断, 很多技术问题还没有解决, 目前距实用化还很遥远。

## 2. 锚定浮标式海底地震仪

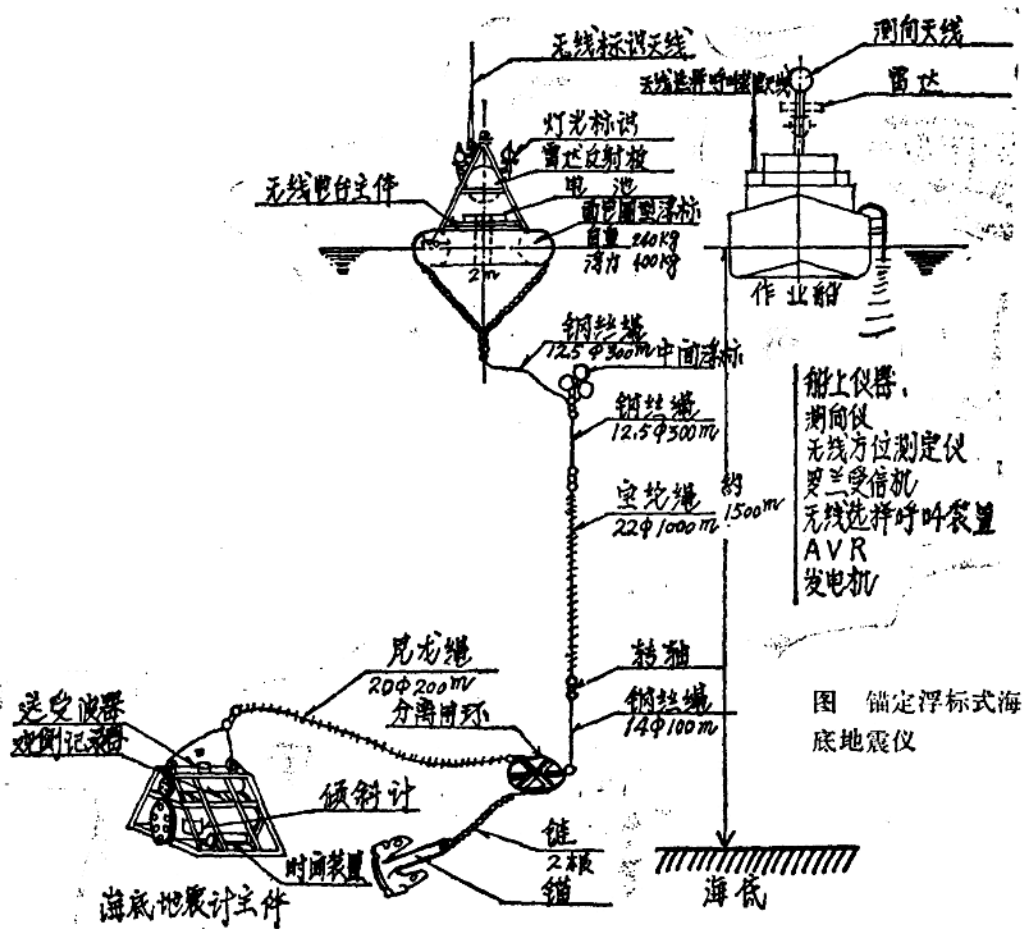


图 锚定浮标式海底地震仪

锚定浮标式海底地震仪如图所示，有三部分构成。(1)设置在海底的被称为海底地震仪主体的地震振动记录装置；(2)绳索浮标系统；(3)设在观测船和研究室里的记录再生装置。地震仪的主体包括耐压容器及其拾震器、放大器、记录器、石英钟和电源电池等计测仪器。所用的仪器要求(1)适合观测海底地震；(2)小型化；(3)耗电量少；(4)完全自动记录；(5)能长期记录等。

下面以东京大学地震研究所南云等人研制的锚定浮标式海底地震仪为例作一介绍。

**耐压容器** 耐压容器的大小取决于观测期间电池的容量，构成地震仪的仪器的数量和大，记录器的大小以及水深等。东京大学地震研究所用于水深6000米的耐压容器内径24厘米，外径27厘米，内长大约1米，材料使用镍铬钢，外形是圆筒形，防水使用O环。观测时间达1个月以上时，同时使用2个耐压容器，其中1个作为装电池用。此外有的使用铝合金圆筒型耐压容器。

**地震仪** 地震仪也叫拾震器、地震检波器和传感器等。海底所用的地震仪特别需要小型坚固。地震探矿用的可变线圈型电磁式地震仪可以用于海底观测。东京大学地震研究所的海底地震仪所用的拾震器的主要规格为：

种 类	GSC-8D-L4B	HS-10-1
固有频率	4.5赫	1.0赫
阻抗	1.35千欧	4.1千欧
灵敏度 (在阻尼为60%时)	0.6伏·秒/厘米	3.0伏·秒/厘米
形状	圆柱形	圆柱形
高度	48毫米	133毫米
直径	41毫米	112毫米
重量	0.27公斤	4.1公斤

**放大器** 放大器为增益60—100分贝的低噪声低频放大器，输入换算噪声一般都在2微伏pp以下，频率范围为0.2—200赫兹，使用晶体管或低噪声集成电路运算放大器。

**磁带记录器** 为了进行长期自动观测，特地研制了超低速磁带记录器，体积小。东京大学地震研究所现在使用的是FM(调频)和DR(直接记录)两种方式的磁带记录器。FM方式的磁带速度为0.06英寸/秒，载波频率为80赫，用7英寸的磁带盘，有4个磁道，1800英尺磁带能记录100小时。DR方式的磁带速度为0.006英寸/秒，1800英尺的磁带能记录1000小时。记录的地震的频率范围为0.5—20赫。

时钟使用精工石英钟，目差在0.05秒以内，电源大多数是使用镉镍电池，在6000米深所用的耐压容器一般用12伏39安培的电池。

系留绳索浮标系统要求：(1)确实能够进行回收；(2)能与海底地震仪很好地结合；(3)要做到不因锚和绳索的杂乱振动扰动海底地震仪。绳索在离开海底地震仪大约100米的地方与锚连接，避开锚的振动影响。绳索不能缠绕海底岩石，要能自动移动。绳索的长度根据水深、潮流和海潮的情况决定。水深小于1000米和潮流快的情况下绳索的长度为水深的2倍以

上,水深大于1000米时约为水深的1.5倍。绳索混合使用钢丝绳、聚丙烯绳、提特伦绳和尼龙绳。锚重60公斤。

表面浮标由主浮标、无线电浮标和辅助浮标组成。主浮标作为绳索的系留和标志用。为了防止水面船只损坏,可采用中间浮标。无线电浮标使用1.6兆赫浮标,在50海里以内能判别浮标的方向。夜间照明采用3000烛光信号灯。

### 3. 自浮式海底地震仪

自浮式海底地震仪近年来越来越受到重视,主要是仪器小型,容易多点布设,机动性好,原则上无论在什么海域都能任意设置、观测。主要用途是进行大区域的地震活动观测;通过测定地震活动性和地震波速度变化等为中长期地震预报服务;进行余震观测;调查与地震有关的构造运动;通过远距离人工地震观测,调查海底构造,捕捉板块运动状态等。

目前日本研制的自浮式海底地震仪类型较多,大同小异,各具特色。下面的东京大学地震研究所笠原顺三等人研制ERI-79型和ERI-AR-81型(后者是音响分离式)和防灾科学技术中心藤绳幸雄等人研制的CDPOBS II a型为例作一介绍。

自浮式海底地震仪由海底地震仪主体和船上声纳呼叫装置组成。海底地震仪主体包括兼作浮力体的耐压容器、拾震器、放大器、石英钟和电池等计测仪器,分离装置,定时装置,超声波收发信装置,无线电信标和闪光装置。海上条件苛刻,要求仪器有很高的可靠性。

耐压容器要求能够承受6000—8000米深的水压。为了获得浮力,一般制成球形。ERI-79型采用玻璃球,附上多孔泡沫等浮力材料,外径是43.2厘米,内径是40.4厘米,在水里有25.4公斤浮力,能承受7500米深的水压。玻璃球是透明的,在使用时能观察内部情况,非常方便。CDPOBS II a型使用高强度铝合金,球形,由上下两个半球和中央环组成,外径75厘米,内径72.5厘米,用氧化膜法和喷漆防腐蚀,用1个大气压的氮气防雾。

地震仪部分由拾震器、平衡环、放大器等组成。在CDPOBS II a型仪器中,一个垂直向和二个水平向共三个分量的拾震器放在平衡环上,平衡环由内外两环组成,最大转动角度分别为 $\pm 40^\circ$ 和 $\pm 90^\circ$ ,拾震器的输出信号通过前置放大器进行50、70、90分贝三级放大,由多通道记录器记录。ERI-79型除拾震器外,还装有水听器。ERI-79型仪器的拾震器固有频率为2赫,线圈电阻8540欧姆,灵敏度1.69伏·秒/厘米。CDPOBS II a型仪器内装短周期和中周期两种拾震器,其性能如下表所示。

种 类	短 周 期	长 周 期
分量数	垂直1、水平2	垂直1 (与短周期垂直向合用)
输出信号形态	速度型	速度型 (加补值)
频率特性	1—30赫	(偏差范围10分贝以内)
电压灵敏度	2.0伏·秒/厘米	2.0伏·秒/厘米
最大输出	10伏pp	10伏pp
输出阻抗	10K $\Omega$ 以下	10K $\Omega$ 以下
摆固有振动频率	4.5赫	
耐冲击	50G	50G

记录器近年来有的开始采用数字式，但是数字式对于记录大量的天然地震非常不利，一般都采用模拟直接方式（DAR）连续记录。在ERI-79型中使用低抖动匣式磁带记录器，声波动在0.1%以下，采用4道磁头，磁带速度为通常盒式录音机的1/360，即0.132毫米/秒，这样在使用C-120磁带时约可记录15天。CDPOBS II a型采用模拟直接方式，有两组磁头，每组7道，共14个频道；记录时间可达1000小时，磁带采用26.7厘米敞开放式磁带盘，走速约0.3毫米/秒，声波动小于0.5%，速度偏差小于 $\pm 0.5\%$ ，时间精度不低于0.02秒，信噪比达到30分贝以上。

时钟都用石英钟，使用C-MOS电路，CDPOBS II a型石英振荡频率为2兆赫，稳定性 $1 \times 10^{-6}/1000\text{h}$ ，ERI-79型石英振荡频率为8兆赫，输出均采用2-10进制串联编码法。

分离装置在自浮式海底地震仪中特别重要，如果分离工作失败，则会前功尽弃。使海底地震仪浮到海面的方法有声响指令分离和定时释放分离两种。前者价格昂贵，后者的缺点是当船只不能行驶到回收点时或者海洋条件恶劣不能进行回收作业时，时间一到就会浮上来，其优点是电路比较简单，造价便宜。分离的方法有爆炸法、爆炸螺栓法、线剪法、真空法、电动机法和磁性法等多种方式。爆炸螺栓法和线剪法在操作时带有危险性。真空法的缺点是只要有微量负压留在里面就不能分离。所有方法都要花费很高的维护费。CDPOBS II a型海底地震仪的分离装置用内部定时器、外部定时器和超声波信号控制，并采用2套分离装置，以确保可靠性，分离结构采用气体发生法的夹钳移动方式。分离指定的下达、海底地震仪与船只之间的距离测定，使用频率为10千赫的超声波，收发信用的超声波转换器使用铊钛酸铅的圆筒型振动器，发信最大功率25瓦，在6000米深海发射，角度 $30^\circ$ 以内，能够与航行在上面的船只通信，发信次数400—500次。ERI-79型海底地震仪采用2个独立的定时器电路，定时器分别与独立的不锈钢丝连接，爆炸分离，最大可定9999小时。新研制的ERI-AR-81型是在ERI-79型基础上改进的，采用先进的声响分离方式。

发现系统使用无线电发报机和闪光灯，CDPOBS II a型使用27兆赫，输出功率5瓦，使用长度约1米的天线时，在10公里以内能够发现。在船只上使用方位探测器捕捉无线电信标发射的电波，并把船只引导到海底地震仪浮出地点。在夜间作业，灯光也可以作为发现设备使用。CDPOBS II a型的闪光灯如仅在夜间闪光，1秒闪光1次，最大可达200小时。从安全可靠起见，主张使用几个发报机和几个闪光灯。

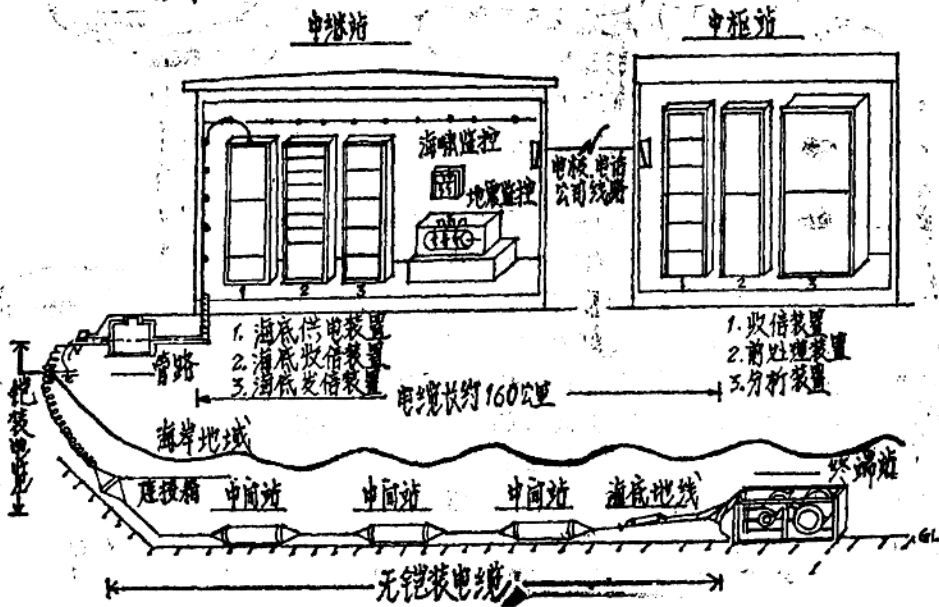
#### 4. 海底电缆式海底地震仪

日本气象厅从1974年开始投资15亿日元在东海地区近海设置了使用海底电缆的台阵式海底地震仪。如图所示，该系统由海底和陆地两部分装置组成。下面以此为例作一介绍。

海底部分装置包括3个中间站、1个终端站、160公里海底同轴电缆以及连接箱等设备。中间站仪器安装在钛制耐压容器内，内装为本系统研制的小型高性能传感器和均衡放大器，和传输设备2个水平向和1个垂直向共3个分量的传感器按各自的方向固定在一块板上，为了提高板的水平度，把它装在精度高的平衡环上，敷设前紧固住，敷设后自动松开。均衡放大器把传感器发出的电信号（速度比例）放大成相当于位移比例的电信号。均衡放大器把3个分量的输出分割成高灵敏度和低灵敏度6个分量，求得扩大动态范围。海底地震仪能承受50G的冲击，设计要求每个分量的故障间隔达到100年，至少可以连续观测10年以上。

# 海底电缆式

# 海底地震仪系统概图



终端站内除了安装中间站的仪器以外，增加了检测海洋潮汐变化的海啸仪，海啸仪能检测2.5厘米的水位变化。

传输采用FM-FDM（调频—多路分频）方式。海底设备的各装置的一级调制采用FM调制，FM部分14—28千赫频段带宽14千赫一段分割成6个频道，对中心频率作±600赫调制，以确保综合动态范围达到72分贝。二级调制使用FDM，给各装置分配11个道频（终端站2个频道）载波，频率选择电缆损耗少的低频，不使用中继器，谋求提高可靠性和降低成本。在FDM部分，中心频率间隔取28千赫，使用AM调制，并用单边带压缩频带宽度，实施高密度多路通信。

本系统的电缆长度约160公里，如果安装4个补偿电缆损耗的中继放大器，电缆长度能够延长到400公里。观测点可增至9个。海底电缆用于海底同轴通信系统，传输数据，遥控，供应电力。采用有高度可靠性的25毫米海底同轴电缆，同轴电缆由内导体和外导体组成。为了改善高频的传导性能，提高两种导体的工艺精度和电性能，充填聚乙烯绝缘体，外导体的外层也被覆聚乙烯。为了在浅海敷设，保护电缆不受损坏要外加单层或双层铠甲。

地面部分装置大致分为海岸中继站和中枢站。海岸中继站内安装了海底部分高压供电装置、接收解调装置、监视记录器、地面有线传输发送装置以及电源装置。中枢站设在东京气象厅地震课，安装了地面遥测接收装置、系统自动操纵处理装置、监视记录器和磁带记录器。在中继站将海底传输来的FM-FDM信号进行解调，回到原来的模拟信号，再通过6条D-1规格专线，以9600比特/秒的调制解调器数字传输到东京。以9600比特/秒远距离传输地震波在日本还是第一次。中枢站通过6条地面遥测线路和6台调制解调器接收信号。其数字信号通过以微处理机为核心的暂时存贮——连续读出方式延迟器进行30秒恒定延迟存贮。用地震检测装置检测地震时，回溯30秒再记录或录进磁带。通过这种方法能够只在地震时才把

地震的完整记录收录到有关的记录器内。检测地震的地震识别装置也以微处理机为核心，当高于规定电平的输入连续超过规定时间时判定为地震。

记录部分采用2台实时连续可视记录器，能够常时连续监控记录任意分量，采用滚筒记录方式，1卷低能记录1—2个月。紧急处理装置使用的记录器采用无墨水热笔式14道记录器，用识别装置遥控，只有在地震时才送记录纸。

### 三、主要的观测成果

#### 1. 海底大规模波速各向异性的发现

日本海底地震仪小组先后在1974年、1977年、1978年在本州东部的西太平洋海盆反复进行了远距离爆破试验，海盆的深度约为6000米，几乎是平坦的。现在通过试验逐步查明在深度100公里左右的地方有很强烈的各向异性，P波速度变化值达 $\pm 7\%$ 。颇有兴趣的是，速度最大的方向居然不是板块运动的现今方向。以前仅在东太平洋的一些地方的地幔的最上层离海底数公里深处得到有关波速各向异性的数据。在超过这一深度，特别是在海底板块厚度达到数十公里处还没有取得过有关数据。因此整个海洋板块或板块下层的大规模地震波各向异性的发现引起了世界各国的重视。因为一些岩石试验表明，在加力方向和其他方向之间，地震波的速度是不同的。因此在地球内部这一点与力实际作用或者作用的结果板块发生运动直接有关，所以用地震学方法检测实际的各向异性成了人们的强烈愿望。

#### 2. T震相

在地震仪观测到的地震波中，有的波在海水中水平传播，被命名为T震相或T波。因为T震相是直接传给海底地震仪和水中地震检波器的，所以观测机会格外地多。据说夏威夷和北美的水中地震检波器网能够根据T震相决定震源。T震相具有显著的直传性以及传播到浅海就衰减消失等特征。T震相的形成要求在海底地形和地震波入射角等方面有一定的条件，其机制还有很多不解之处。据日本报告，海底地震仪记录到的T震相的数量远比日本国内高灵敏度的地震台多，表明T震相有良好的传播效率。根据海底地震仪观测到的T震相来判明震源的约占10%。西伊里安到菲律宾东岸发生的地震经常观测到T震相，新几内亚东部及其以东地区的地震观测不到T震相，大概是伊豆—马里亚纳岛弧妨碍了传播的缘故。在日本近海，冲绳主岛至日向滩发生的地震能观测到T相。台湾至琉球南部发生的地震似乎受到琉球岛弧本身以及在日向滩北部受到纪伊半岛的妨碍，T相传播不过来。

#### 3. Q值

通常用衰减系数Q表示地震波的衰减。发现海底岩石圈的Q值明显偏高。浅田敏等人发现，至少有3000，不超过5000。5000这个值实际上远远超过了根据陆上观测取得的值。例如日本地壳和上地幔的Q值是200—500，一般认为上地幔的Q值最多不过2000左右。

### 四、结 语

海底地震仪在未知海洋世界的探索、大地震的调查、海洋与大陆的相互作用的研究、海

底构造的调查、地球内部构造的研究、海底抗震工程的研究以及其他与此有关的地球物理现象的研究方面可以发挥重要的作用。日本在这方面已取得了一定的成果。

日本在海底地震仪的研制和海底地震的观测方面居领先地位。对锚定浮标式、自浮式、海底电缆式等各种海底地震仪都进行了研究并投入使用。日本海底地震仪的技术比较先进，耐高压，能在6000—8000米深海进行观测；小型CDPOBS II a型自浮式海底地震仪的重量仅325公斤，有定时、音响两种分离手段；记录时间长，CDPOBS II a型自浮式海底地震仪记录1000小时可靠性高；海底电缆式海底地震仪至少能连续观测10年。

浮标式、自浮式具有临时流动观测的特点，电缆式、卫星式具有连续监视观测的特点，从性质上两者有时应分别使用，有时应联合使用。海底地震仪是在深海进行观测，与陆地不同，选择与观测目的相适应的方式是战术上的重大问题。

自浮式机动性好，种类多，越来越受到重视。锚定浮标式缺点明显，现在使用较少，但是如果技术上的障碍得以排除，锚定浮标式也有重新研究的余地。如果海底——浮标间的信号传输技术以及浮标—陆地间达到5000比特/秒的信号传输技术方面能够研究出可靠性高的方法，锚定浮标式在费用上是占便宜的。

海底电缆式耗资巨大，设备昂贵，最好尽可能建设成包括海洋、地磁、重力等观测项目在内的综合的地球物理观测设施。

由于海底地震仪的出现并投入观测，给人们提供许多新的资料，使以研究占地球总面积三分之二的海底构造及其运动为中心的海底地震学，成为一门新兴的学科而日益被重视，由于长距离海中爆破观测的成功和数据处理系统日臻完善以及海底大规模各向异性的发展，使世界上临海的多震国家着手大力开展海底地震学的研究，它将对推动整个地震学的发展，对地球构造和运动、地震起因、地球起源、板块构造方面研究作出贡献。因此，海底地震仪的研制成功及其实际观测，对海底地震学和地震学的发展将起着决定性的作用。所以，目前世界上例如美国、英国、法国、加拿大、西德、苏联和日本在加紧这方面的研究，有23个海底地震仪研究小组在研制海底地震仪及其观测系统。美国这方面研究较早，但后来没有能继续下去；苏联这方面研究也开始的早，但进展不大，日本是1964年组成海底地震仪研究小组，1969年在鸟取近海进行了第一次观测，经过几年的努力，日本海底地震仪已经有的很大改进，具有独特的观测系统和观测方法。日本还将在原来的基础上，制定今后海底地震仪计划，有力地推动海底地震学的发展。这一点，对于多震的又是个海洋中的岛国来说，无疑是十分重要的。

我国在这方面的研究基本上是空白，但是对于有广阔的海洋、沿海地区经济发展、工业集中人口众多、海洋资源丰富正处于大力开发时期，而且又常发生地震的我国来说，这种状态是十分不相适应的。我国地震学工作者，责无旁贷的担负起海底地震和海底抗震工程的研究。本文中有关内容，将给我们提供很有价值的参考资料，借鉴外国的经验和利用外国先进设备，选择适合我国的海底地震观测技术和进行实验研究是十分必要的。

(潘元振 卢振恒编译)



# 在EC-1030型电子计算机上收集、 处理和保存地震资料的系统

斯塔罗沃伊特O. E.,  
扎哈罗娃A. И., 巴尔明M. П.,  
巴布金娜B. Ф

近年来,在“奥布宁斯克”(Обнинск)中央地震台上以EC-1030型电子计算机为基础开始创建收集、处理和综合来自统一地震观测系统(ЕССН)台站的地震信息的系统。该系统的主要任务是自动存储,查找和提供ЕССН基准台网的地震报告中地震基本参数和地震波主相的资料。

该系统专门用于及时查找和处理已经发生过的地震的资料,以便实现对未来地震的预报,此外,还用于解决要求处理大量地震资料的许多地震学问题。

该系统是由信息库、技术手段和数学保证所组成的一个综合体,它使有关过去和目前震情的大量资料存储起来,并能根据科学工作者(用户)的要求处理,保证信息服务。

**台站资料的及时收集和综合处理** 在建立信息库之前,资料处理的结果以ЕССН地震报告的形式发布。地震资料的收集是通过电传、电话和电报每天从ЕССН的60个地震台及30多个国外台传到“奥布宁斯克”中央地震台的综合报告来实现的。综合报告包含一昼夜内台站记录到的苏联境内和世界上 $M \geq 4.5-5.0$ 的所有地震事件的初步信息。在分析1970—1975年间ЕССН地震业务报告资料的基础上,确定出传入“奥布宁斯克”中央地震台的业务信息输入流有以下参数:

1)  $M \geq 4.5$ 事件流的昼夜平均密度 $\lambda = 5$ 个地震/昼夜;

2) 当 $\lambda = 0-6$ 个地震/昼夜时,一年中这种日子的最大数量占79%,而 $\lambda = 7-15$ 个地震/昼夜的日子占20%;

3) 输入流的昼夜平均容量 $V_{\text{输入}} = 8 \times 10^4$ 字节。

传入“奥布宁斯克”中央地震台的业务信息流要经过三个阶段的综合处理: a) 将未知震源时间的台站通信用于手工进行分类; b) 用叶皮凡斯基A. M的ЭПИ-74程序在电子计算机EC-1030上确定震源的主要参数; c) 准备ЕССН的地震业务报告。

地震业务报告分两阶段出版: 第一阶段,经过一个月,把具有基本参数(发震时间和地区,震源坐标、震级)的地震目录分发出去; 第二阶段,经过3—4个月公布详细的地震资料,除了基本参数外,还包括资料精度的估计和台站的体波、面波运动学及动力学特性。在业务报告和详细处理地震图的台站报告的基础上,编制ЕССН台网的地震报告,在这种报告中,有震源基本参数和地震波特性的修正方案。

**在磁带上地震目录和地震报告的形成** 它是在信息库基础上进行的,该信息库由两部分组成。当前的(即时的)和存档的(过去的)。

当前的信息库包括: 1) 具从即时状态地震台得到的主要地震波运动学和动力学参数的ЕССН地震业务报告; 2) 共和国(区域)中心的综合地震信息; 3) 在自动确定震中座标过程