

编 号: (79) 014

内 部

出国参观考察报告

日本地震观测技术

科学技术文献出版社

出国参观考察报告

日本地震观测技术

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

开本 $787 \times 1092 \cdot \frac{1}{16}$ 5.5 印张 140 千字

科技新书目：137—28号

统一书号：12176·23 定价：0.82元

1979年11月出版 印数：1—5800册

目 录

前言	(1)
第一章 地震台网	(1)
一、气象厅地震台网	(3)
二、微震观测台网	(5)
三、计划中的全国大区域观测网	(18)
四、其他	(21)
第二章 深井观测技术	(22)
一、地震深井观测的目的	(22)
二、岩槻地壳活动观测站的建设过程	(23)
三、岩槻深井的观测系统	(25)
四、消除由于水传播的噪声方法	(30)
第三章 地壳形变测量	(30)
一、前言	(30)
二、精密激光测距网 (水平形变)	(32)
三、精密水准测量 (垂直形变)	(35)
四、定点连续观测地形变仪器	(37)
五、观测数据的传输和处理	(42)
六、几点看法	(44)
第四章 重力、地磁、地电等其他观测工作	(45)
一、地磁观测工作	(45)
二、电导率观测工作	(49)
三、人工地震测深	(53)
四、地热工作	(58)
五、高温高压实验	(59)
六、重力仪	(62)
第五章 其他部分	(65)
一、日本地震预报研究工作现状	(65)
二、伊豆大岛近海地震的前兆现象及其预报情况	(74)
三、关于日本地震科研人员的培养	(85)

日本地震观测技术

中国地震代表团

前 言

中国地震代表团自1978年7月11日至8月11日赴日本考察、访问，先后到了东京、筑波、仙台、盛冈、秋田、札幌和洞爷湖等地。参观和访问了气象厅、国土厅、东北大学、秋田大学、北海道大学、东京大学地震研究所和海洋研究所、文部省极地研究所、国立防灾科学技术中心及国土地理院；实地考察了五个地震观测台站：青叶山、北上、仁别、有珠山和岩槻深井观测所；还与冲电气、日立、明石、三荣、Teac、电信电话公社等十多个工厂、企业进行了技术座谈。

这次考察的重点是日本的地震观测技术方面的有关内容，主要侧重于测震技术、深井观测技术、地形变观测技术等方面。限于时间和水平，不妥之处望读者指正。

第一章 地震台网

在日本为了监视全国地震活动性和开展地震预报工作而设置的地震台网由二部份组成：一是3级以上的大、中、小地震进行常规观测的地震台网，由气象厅负责。二是有关各国立大学和研究单位根据研究需要，选择地区对3级以下的微震进行连续观测的地震台网。气象厅在全国设有118个地震台站（都由测候所兼测）。计划在1979年3月前将再增加8个台站。负责微震观测的各大学和研究单位计有八个：北海道大学理学部地震预报观测中心、东北大学理学部地震预报观测中心、东京大学地震研究所、名古屋大学理学部、京都大学防灾研究所、京都大学理学部、高知大学理学部和国立防灾科学技术中心。现有微震观测台站共143个。其中各国立大学负责观测的为125个（遥测的83个，委托观测的42个）（图1—1）。国立防灾科学技术中心负责观测的18个（遥测的10个，当地观测的8个）（图1—2）。

在加强观测区的关东、东海地区（经度 137° — 141° ，纬度 34.5° — 37° ），目前共有微震观测台站59个（名古屋大学理学部19个，东京大学地震研究所19个，京都大学防灾研究所3个，国立防灾科学技术中心18个）。其中遥测的38个，委托观测的21个。

最近日本已拟定了第四个地震预报五年计划。在微震观测方面，为了对发生在全国（除九州外）境内和近海的2级以上的地震进行均匀观测和建立数据库供各有关单位共同使用，故计划建立全国大区域观测网。将目前处于分散状态的各大学的微震观测台网用通讯线路有机地连接起来。其中心设在东京大学地震研究所内。同时将再增加微震观测台站33个（北海道大学理学部增加9个，东北大学理学部增加6个，东京大学地震研究所增加12个，京都大学防灾研究所增加2个，京都大学理学部增加2个，高知大学理学部增加2个）。到计划完

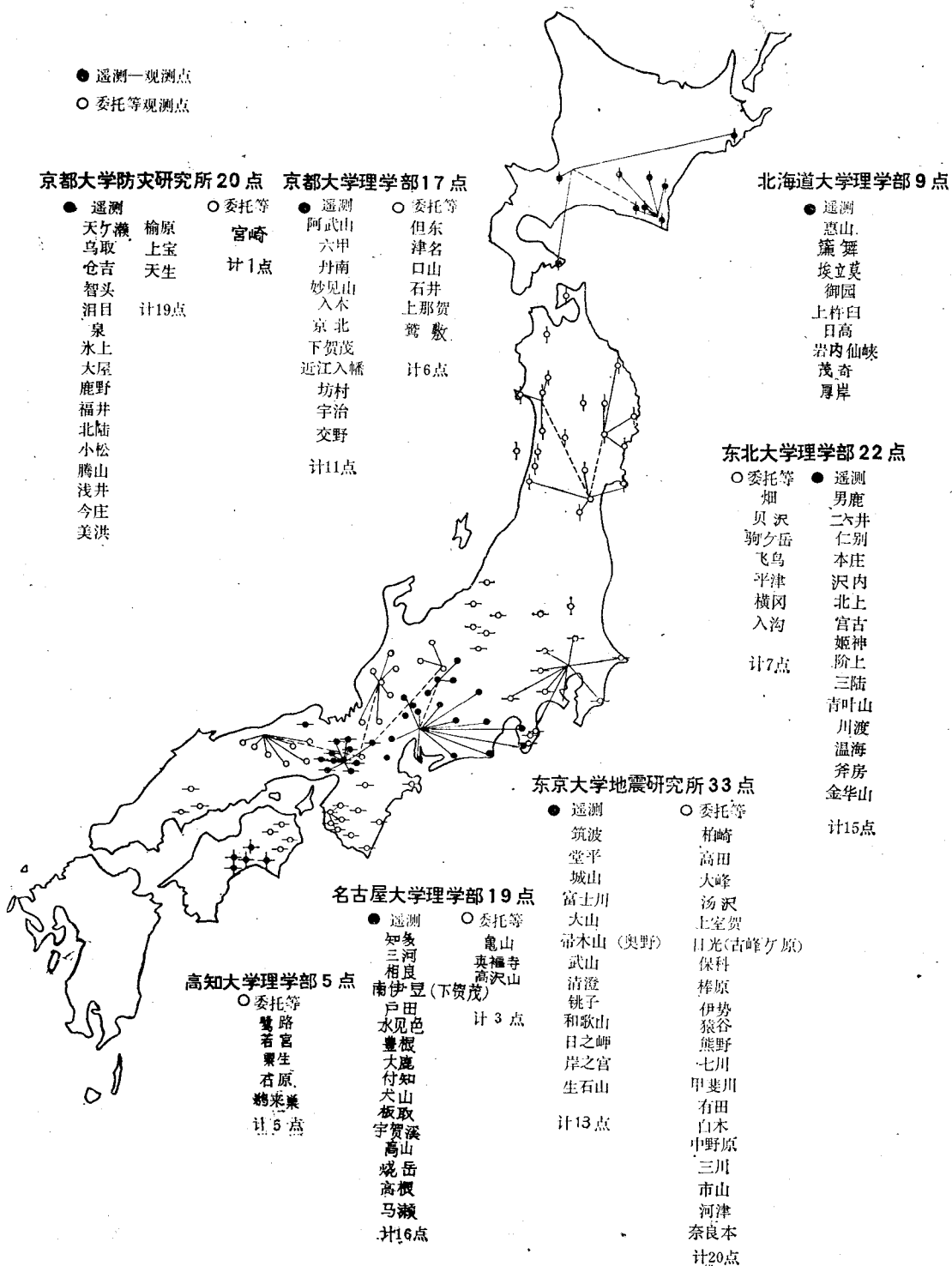


图 1—1 各大学微震观测台站分布现状图

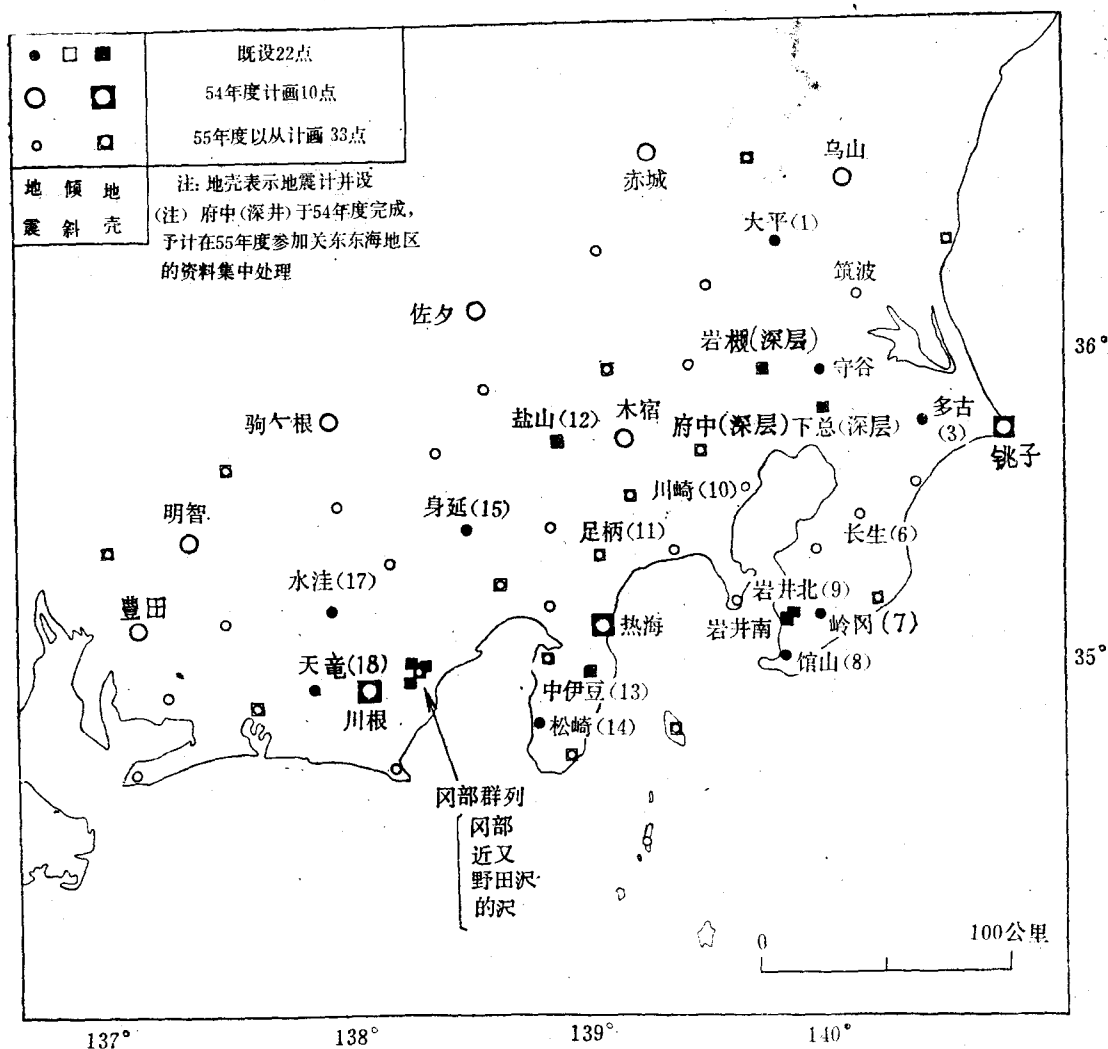


图 1—2 国立防灾科学技术中心现有的和计划设置的观测台站分布图

成时大学负责观测的微震台站将为158个，且全部实行遥测。国立防灾科学技术中心在关东、东海地区也拟再增加微震观测台站43个。连同目前已有的台站，其总数将为61个。也全部实行遥测。故到第四个地震预报五年计划完成时，日本全国将有217个微震观测台站。在关东、东海地区将有105个微震观测台站。

日本的微震遥测台网绝大部分采用日本电报电话公司所提供的D—1规格有线专用线路来传输地震数据。只有在观测台站处于偏僻地区或数据量太多无法使用一条有线专用线路时才采用超短波无线线路来传输数据。

下面分别就气象厅的地震台网和各大学及研究单位的微震观测台网和某些技术问题作一较详细的介绍。

一、气象厅地震台网

气象厅所属的118个地震台站中均装有固有周期为5秒的垂直向和固有周期为6秒的三分向一倍强震仪。绝大部分台站上装有百倍级的可见墨水记录电磁型三分向地震仪。再其中有

80个台站还装有千倍级触发模拟磁带记录的三分向地震仪。这些台站所收集的地震数据主要是供编制地震月报和大震速报及海啸警报用。

(一) 地震月报

80个地震台站上的模拟磁带记录,每隔十天寄至东京气象厅地震课。在该课内先将送来的磁带以8倍于记录速度的回放速度进行回放,经模数转换器将模拟信号转换成数字信号按规定的编排格式用数字磁带机记录在磁带上。

在该课内有一套小型电子计算机数据处理设备。主机为日本日立制作所生产的 HITAC 8250型电子计算机(字长32位,内存64千字)。外围设备有:二台磁盘机(每台容量为15兆字节)、二台磁带机、一台卡片读出器、一台宽行打印机、一台带键盘的图形显示器和一台控制台打字机。

为编制地震月报,将存储地震数据的数字磁带装在由计算机控制的数字磁带机上,将存有计算地震参数命令的卡片送入卡片读出器。通过控制台打字机打入启动命令后,计算机即自动进行测定地震参数的工作,结果在宽行打印机上印出。一般处理一个地震约需30秒钟。但由于计算机自动读取震相的错误较多,故尚需利用图形显示器显示出地震的原始波形,而后由人在屏幕上读取震相定出地震参数进行校核。最后依此编制地震月报。

(二) 大震速报和海啸警报

发生在日本近海的强烈地震往往引起海啸,故日本的大地震速报是作为海啸警报工作中的一个环节。在日本全国设有六个区域海啸警报中心(札幌、仙台、东京、大阪、福冈和名古屋)。分别承担本区内的海啸警报任务。当大地震的震中离日本海岸600公里以外,则气象厅作为全国海啸警报中心,负责与檀香山的海啸警报中心联系,索取国外地震台站所记到的数据,结合国内台站的数据定出震中位置,震级大小和估算海啸等级发出警报。

在气象厅所属的118个地震台站中,指定了74个台站承担近地强震的海啸警报任务。指定了14个台站承担远地强震的海啸警报任务。这些台站称为“海啸警报地震台站”分别属于六个区域海啸警报中心。

当这些台站上记到地震后,应迅速处理地震记录应立即将结果用电报报至所属中心。这类电报称为“地震电报”。

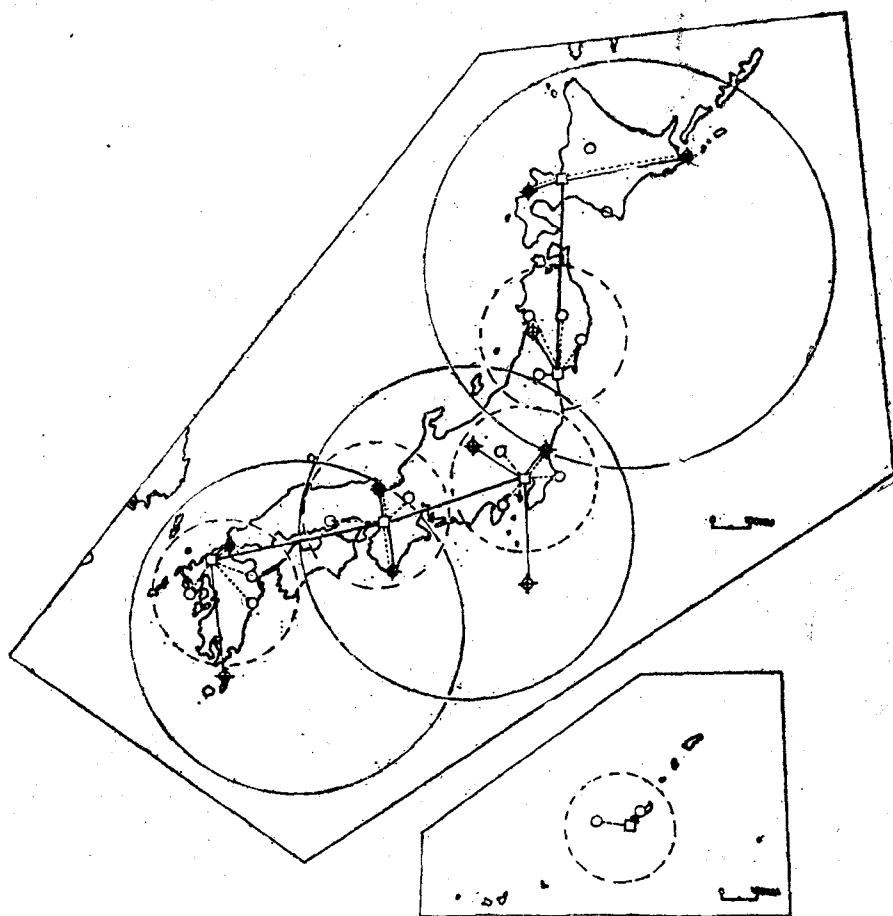
当这些台站上的观测人员感到了烈度大于4度(日本烈度表)的地震或一倍强震仪记录图上的双振幅超过5毫米时,则必须在五分钟内拍发“海啸警报用第一类地震电报”,把P波到时和强度报至所属中心。十分钟内报其他数据。

当指定承担远地强震海啸警报任务的台站在记到S-P大于60秒,且周期为10秒的地震波振幅超过某一规定值时,则必须拍发出“海啸警报用第二类地震电报”至气象厅。报出所处理的结果和数据。

为确保这项工作能及时进行,故要求各中心24小时内至少有1人值班。气象厅则至少有2—3人值班。并每年进行1—2次演习。

为了快速地、及时在各中心粗定震中,故每个区域中心还配有一个小孔径四点有线遥测地震台网。但由于孔径较小(1—2百公里),故对发生在离海岸100公里以外的地震就无能为力。为此又有几个大孔径有线遥测地震台网(图1—3)。用来测定发生在离海岸400公里以内的地震的参数。

这些台网中的观测点上所收集的地震数据经电话线路实时连续不断地传输至所属中心。当大地震发生后,地震信号使装在中心的触发器动作,一方面发出警报通知值班人员,一方



- : 小孔径用遥测台站
- ◆ : 大孔径用遥测台站
- ◇ : 大小孔径用遥测台站
- : 地方性海啸地震的海啸警报中心
- : 小孔径系统能测定出震中距的范围
- : 大孔径系统能测定出震中距的范围

注：孔径应为孔径

图1—3 大震速报和海啸警报用遥测台网

面启动四笔可见记录器记录下经延时装置输出的地震波形。值班人员取下该记录的地震波形图放在一台专用的处理设备的面板上，然后由人将目测的二对台站的P波到时差由按键输入该设备。于是就自动粗定出震中位置，并在震中显示板上用点燃的小红灯炮显示其位置。

在陆续收到各台站报来的较多数据后，就由人用交切法精确地测定地震参数。根据震中距和震级，按预制的列线图上的曲线估计海啸等级，而后决定是否发布警报。以上全部工作应在20分钟内完成。

二、微震观测台网

如上所述，在日本为开展地震研究和地震预报工作已有八个单位建立了微震观测台网。其中除少数采用委托观测方式外，绝大部份均采用遥测方法集中观测。在这些台网中所采用

的传输地震信号的调制方式基本上有二种：一是频分制多路模拟调频方式、一是时分制多路脉码调制方式。下面较详细地介绍这次考察的、有代表性的二个微震遥测台网：一是东北大学理学部地震预报观测中心的台网，它是采用模拟调频方式传输信号的。另一个是北海道大学理学部地震预报观测中心的台网，它是采用脉码调制方式传输信号的。

(一) 东北大学理学部地震预报观测中心的微震遥测台网

该台网如图 1—4 所示,有一个中心和二个付中心。共有 15 个观测点。每一个观测点上的信号经二线制 D—1 规格有线专用线路传至副中心或中心。副中心上的一部份信号经四线制 D—1 规格有线专用线路传至中心。中心设在仙台市青叶山。二个副中心设在北上和秋田。

图 1—4 东北大学理学部遥测地震台网

每个观测点上有一套固有周期为 1 秒的三分向短周期地震计和各种观测地壳形变的仪器。信号分量数共有 14 道（四道是地震信号，其中包括东西、南北各 1 道，二种增益的垂直向二道），10 道地形变信号（其中模拟量输出的水管倾斜仪二道，伸缩仪三道、气压一道、气温一道、标准电压一道。有些点上还有数字量输出的雨量计和核子旋进磁力仪）。四道地震信号送入模拟调频发送设备内，分别对中心频率为 1300, 1700, 2300 和 3000 赫的压控振荡器进行频率调制。调制度为 $\pm 6\%$ 。8 道模拟量输出的地形变信号由采样开关顺次采样送入模数转换器将模拟信号转换成数字信号后，再与二道数字量输出的信号併路后，对中心频率为 765 赫的压控振荡器进行移频调制。调制度为 $\pm 35\%$ 。而后将这 5 个已被调制的音频信号混合后经专用线路传至各自的中心。

在二个副中心，还将每个观测点的垂直向地震信号和一个指定观测点的一道水平向地震信号，一共 6 道再经模拟调频方式，和四线制 D—1 规格专用线路的上行线路传输至青叶山中心。地形变数据不实时传输，定期将穿孔纸带送中心处理。

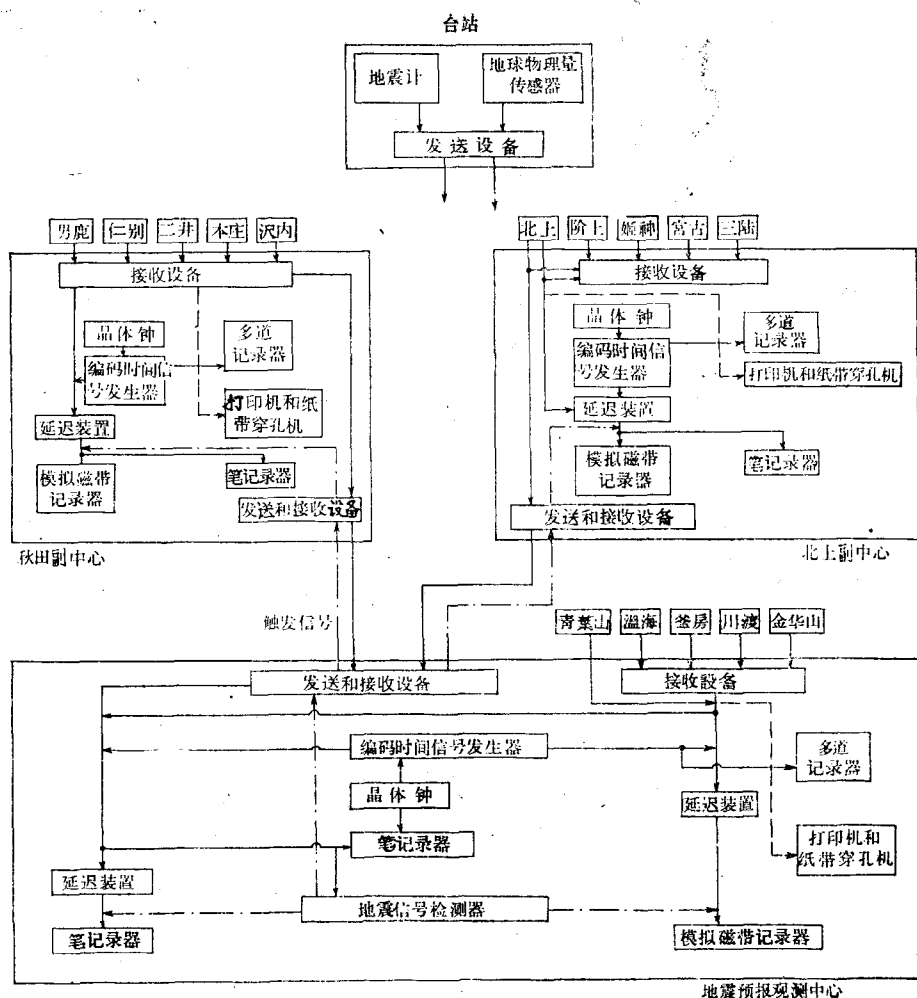


图 1—5 遥测地震台网中心、副中心记录设备框图

时间定为二分钟；另一方面同时经四线制专用线路的下行线路传输至二个副中心来启动该地的记录装置。

在青叶山中心有一套数据处理系统（图 1—6）。中央处理机的型号为 OKITAC—4500C（冲电气公司产品），内存容量为 48 仟字，字长 16 位。外围设备有：1 台容量为 2.5 兆字的磁盘机、二台磁带机、一台卡片读出机、一台高速纸带读出机、一台宽行打印机、一台 X—Y 绘图仪、一套带硬复制设备的图形显示器、一台 X—Y 座标读取装置——图形数字化仪（scriptographics 由美国进口）和一台模拟磁带回放装置。

这套系统可进行各种数据处理工作。还能利用可见记录地震图测定地震参数和在图形显示器上绘制微震震源分布图的工作。

当需测定地震参数时，将多道可见记录地震图按指定的位置放在 X—Y 座标读取装置的枱面上。通过功能键一方面清零，另一方面通知计算机作好准备，然后由分析人员用一个与该装置连接的十字线测标，先沿编码时间信号记录道将绝对时间输入计算机内。接着沿记录图由上至下顺次将各道记录到的 P 波到时（在垂直向上读取），S 波到时（在水平向上读取）

以及在指定道上,由分析人员根据记录情况判断地震结束的位置,即地震持续时间,一并输入至计算机内。操作完毕后,再通过功能键命令计算机进行处理。结果(图1—7)一方面由宽行打印机打印出来,一方面存在磁带上。

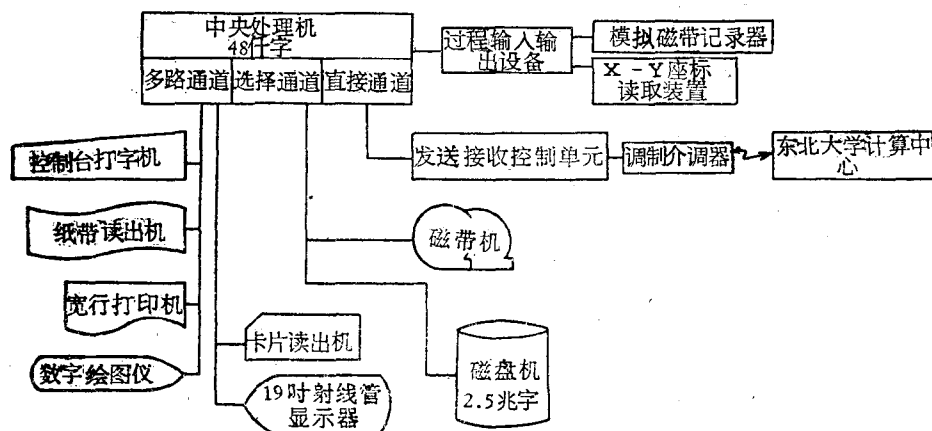


图1—6 数据处理系统框图

发震时间			纬度			经度			深度			使用台数	震级
77.7.3	18	8.214	±0.001	39.236 N	±0.015	139.765 E	±0.021	16.058 m	±3.393	6	16		
	P	WP	S	WS	S-P	AMP.	DELTA	TP	TS	RPSP	ROCP	ROCS	
HOJ 5	15.3	1.00	20.5	0.20	5.2	D	37.3	7.0	11.9	0.208	0.141	0.348	
SAW 4	23.3	1.00	33.9	0.20	10.6		88.9	15.1	25.9	-0.216	0.017	-0.200	
N1B 3	21.2	1.00	30.1	0.20	8.9		76.6	13.2	22.6	-0.193	-0.168	-0.661	
OGA 1	20.8	1.00	30.6	0.20	9.8		71.5	12.8	22	0.634	-0.217	0.418	
KWT 12	25.1	1.00	0.0	0.00	0.0		101.6	17.0	29.3	0.000	-0.092	0.000	
KGJ:10	32.6	1.00	0.0	0.00	0.0		156.2	24.1	42.0	0.000	0.340	0.000	
观测点	P波观测走时		S波观测走时			P波初动	震中距	理论走时			走时残差		

图1—7 地震参数表

关于用计算机自动识别震相的问题。东京大学地震研究所的沟上惠认为,若震源较浅的地方震,由于初动很尖锐,故较容易自动识别其初动震相,一般可达90%的成功概率。但对近震及远震则目前欲自动识别震相是相当困难的。国立防灾科学技术中心的渡边一郎也认为用计算机自动识别震相是一件非常困难的工作。就是对地方震来说也仅有30%能自动识别出初动。因此他认为目前用人—机结合的办法测定地震参数还是一个最可靠而又实用的方法。

微震震源分布图(图1—8)是通过显示器上的键盘向计算机发出命令,而后在程序控制下根据存于磁带或磁盘中的地震参数,按给定的时间、空间范围和震级范围。在图形显示器上先画出经纬度和深度线以及地图,然后画出微震震源位置。一张有2000个地震的震源分布图约在1分半至2分钟间画出。若需保存时,可直接由与图形显示器相连接的复制设备复印出来。

这个微震遥测台中,地震观测系统的频率特性是速度平坦型。频带由1—30赫。某些观测点如北上,仁别二点,其台基为花岗岩,故放大倍数较高,在频率为4—5赫时的放大倍数可达40—50万倍。其他一般的观测点的放大倍数在10赫时为8万倍左右。

这个台网的检测能力和精度的问题，该中心的石井紘和高木章雄曾进行过研究：当假定地壳模型为一半无限弹性体，P波速度为6公里/秒时，则测定发生在网内的 $M=3$ ，深度 $h=10$ 公里的地震参数时，发震时刻的标准误差可小于0.5秒，震中位置的标准误差为小于1公里。深度精度则很差，其标准误差最大可达10公里。若假定地壳深度为31公里，P波速度为6.3公里/秒，上地幔内的P波速度为8公里/秒，则发震时刻、震中位置的标准误差仍为

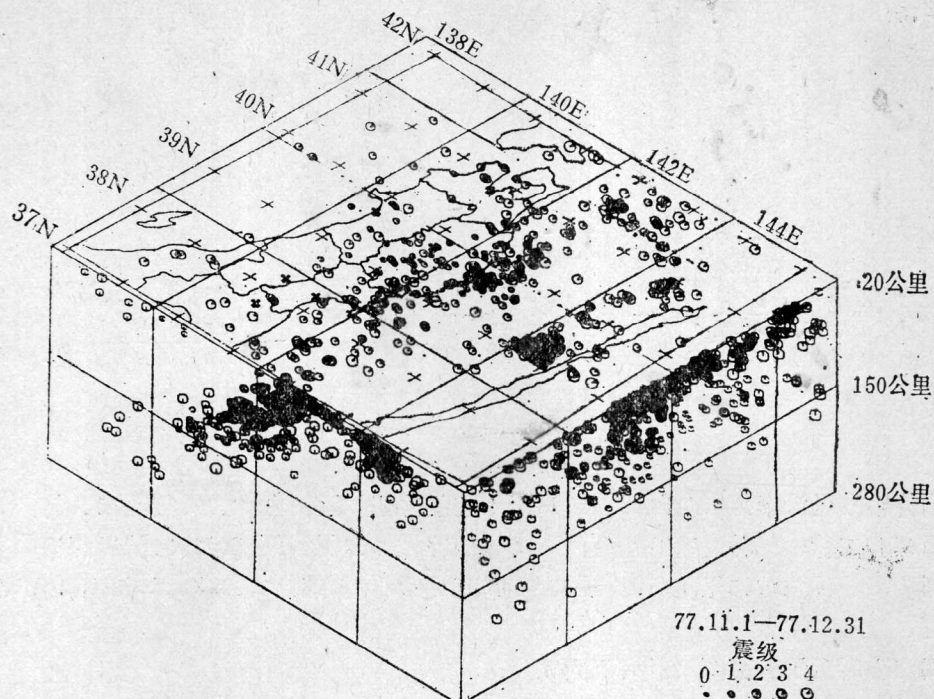


图1—8 微震震源分布图

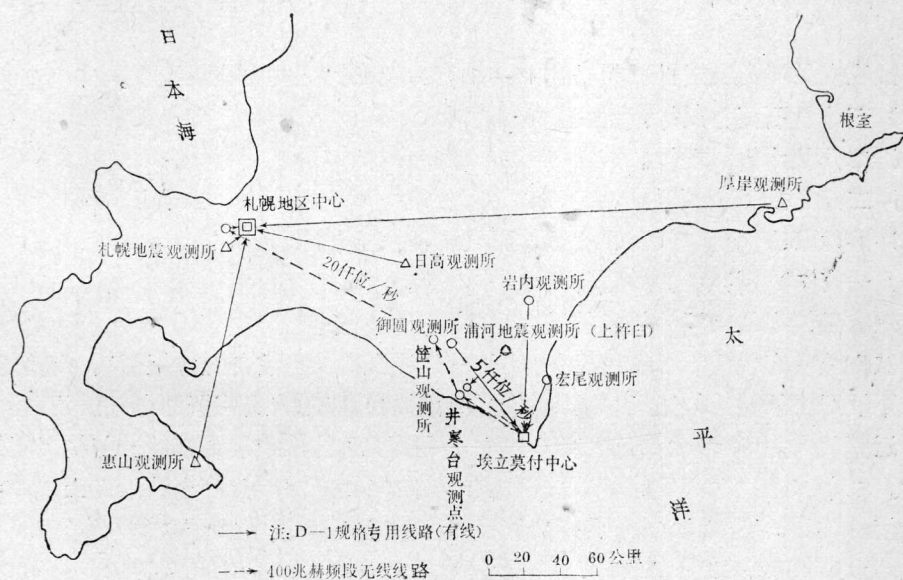


图1—9 观测点分布图

小于0.5秒和1公里。但深度的精度就大为提高。其标准误差大部分为小于3公里。总的来说该台网的检测能力对发生在网内的地震是M大于2。

(二) 北海道大学理学部地震预报观测中心的地震台网

该台网共有9个观测点(图1—9)。中心设在札幌。每个观测点上的信号采用时分制多路脉码调制方式,经D—1规格有线专用线路和无线集中、中继转接线路传至札幌中心(图1—10)。

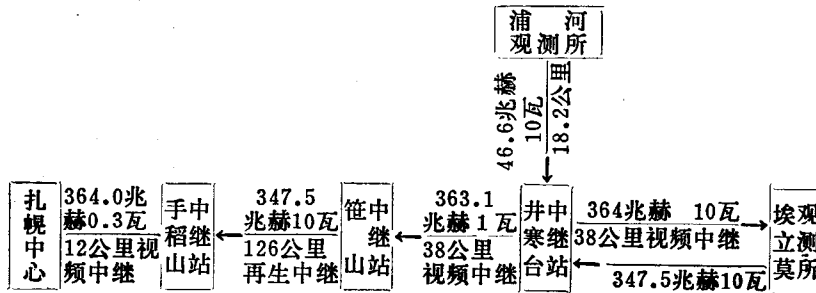


图1—10 无线集中, 中继转接线路图

有线传输的码速率为2.4仟位/秒。采用4相差动相位调制方式。载频为1800赫。无线传输的码速率有二种:一种是5.8仟位/秒。4相差动相位调制。载频为2900赫。射频调制方式为相位调制。另一种是17.5仟位/秒。4相差动相位调制。载频为8700赫。射频调制方式也为相位调制。

观测点上所配置的观测仪器有下列几种:

1. 模拟量输出的有:

- (1) 固有周期1秒的三分向短周期地震计, 频带为1—30赫。9个观测点均配置。
- (2) 三分向赛克斯(Sacks)型长周期地震计。频带为0.03—5赫。仅配置在浦河观测点。
- (3) 应变长周期地震计。频带为0—1赫。仅配置在埃立莫观测点。
- (4) 三分量石英伸缩计。
- (5) 二分量水管倾斜计。
- (6) 二分量振子式倾斜计。
- (7) 其他还有气压、气温、潮位、雨量、涌水量、地电等。
- (4) — (7) 所列仪器的频带取0—0.1赫。

2. 数字量输出的仪器为核子旋进磁力仪。

观测点上装有有线或无线发送设备(图1—11为有线发送设备的方框图)。由传感器输出的、低电平模拟信号输入绝缘运算放大器进行前置放大和滤波。根据冲电气公司所赠资料,这种绝缘运算放大器(美国BURR-BROWN公司产品)的输入端的〔地〕与输出端的〔地〕是绝缘的。二个〔地〕之间的绝缘阻抗可达 10^{12} 欧116微微法。且能连续承受士1000伏的高压。绝缘模抑制比:直流为160分贝;交流(60赫)为120分贝;噪音(输入端)为1微伏;静态功耗为士15伏 $\times$ +35/—10毫安。外形尺寸为90 $\times$ 50 $\times$ 5毫米。重量为5盎司。其主要工作原理(图1—12)是利用通常的运算放大器作为输入级,将其输出信号进行脉宽调制变

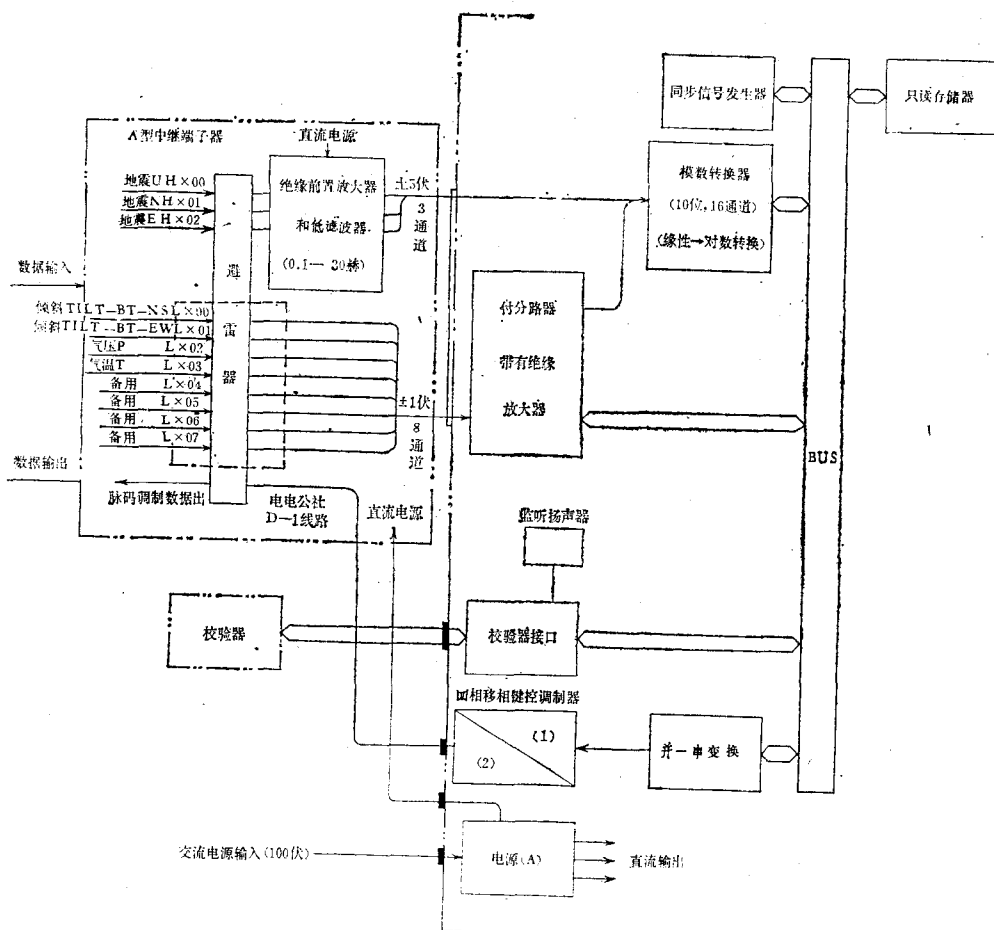


图 1—11 有线发送设备方框图

成数字型信号，再经光耦合器或绝缘脉冲变压器送至输出级介调后恢复成原输入级输出的信号。供电电源也如上述原理加以隔离。这样就使该放大器的输入端的〔地〕与输出端的〔地〕互相绝缘。

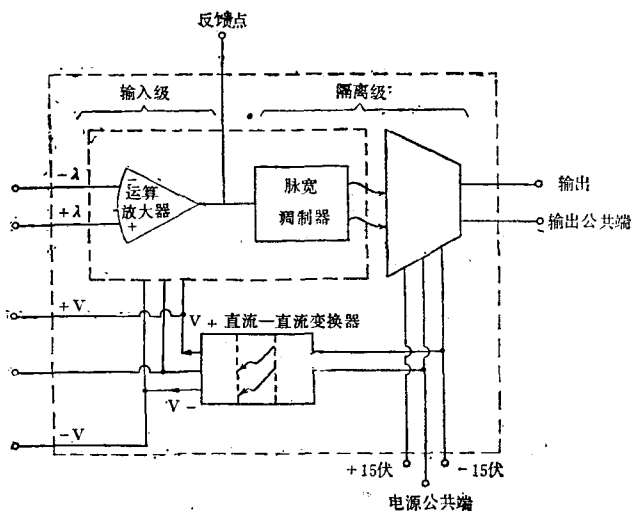


图 1—12 绝缘运算放大器的电原理简图

经绝缘运算放大器放大、滤波后的模拟信号送入多路模数转换器转换成数字量。短周期地震信号的采样率为92.3赫/道。应变长周期地震信号的采样率为6.15赫/道。这二种信号由于在模数转换器内进行非线性转换（对数式），故8位二进制数对应于60分贝动态范围的输入信号。赛克斯型长周期地震信号的采样率为18.3赫/道。线性模数转换，输出为8位二进制数。地形变信号的采样率为1.05

赫/道，也采用线性模数转换。输出为10位二进制数。这些数字量的数据送入总线后，在存于只读存储器内的程序控制下，插入校验位(每一个字有一位奇偶校验位)，同步信号，再经并串转换装置，形成按一定编排格式的串行数字信号，送入调制解调器，由有线或无线线路传至中心。

在札幌中心有一套记录设备(图1—13)。用来记录28道短周期、15道长周期的地震信号和76道地形变信号。其中二台交替运转的高密度数字磁带记录仪(HDDR)可连续记录43道地震信号。一台18道墨水可见记录器记录经数模转换器转换成模拟量的地震信号(短周期地震数字信号在数模转换时还进行反对数式转换，以恢复在观测点上输入模数转换器时

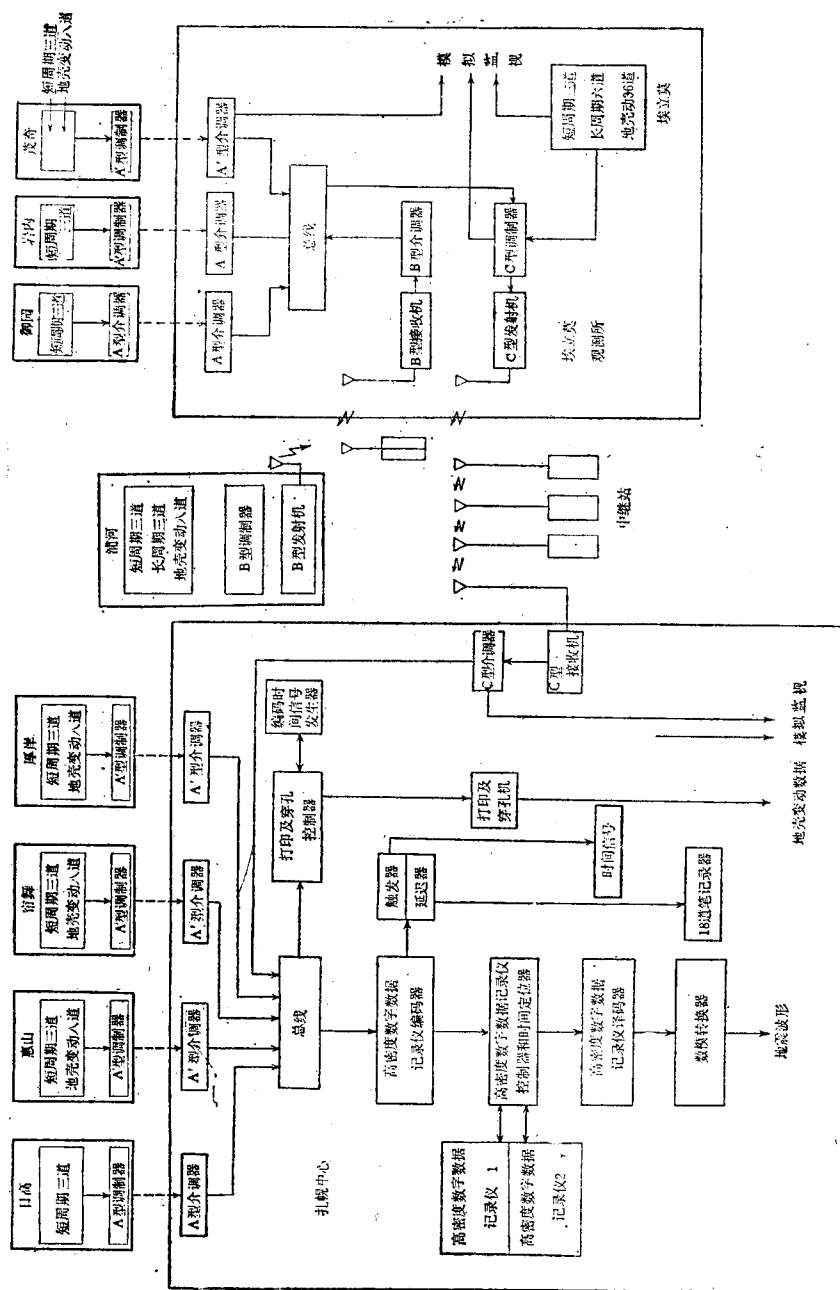


图1—13 遥测和记录系统框图

的模拟信号)。在无地震时,纸速为0.25毫米/秒,作监测用。在有地震并达到触发准则时就自动将纸速增快到5毫米/秒。由于采用22秒的信号延时装置,故不会丢失初动记录。76道的地形变数据,一方面用穿孔机,每隔1小时(必要时也可缩短到每分钟、每10分钟或每30分钟)穿成纸带。一方面则由数模转换器转换成模拟信号用多色打点记录器记录下来。

下面介绍高密度数字磁带记录仪(HDDR)。这种记录仪是由日本明星电气公司(承担制造该台网数据传输记录设备的单位)向美国霍奈厄尔(Honeywell)公司买进三台96型模拟磁带记录器,配上编码器、控制器、译码器后组成的。这种模拟磁带记录器共有9种带速(由每秒15/16英寸至每秒240英寸)。其特点是在磁带正反运转时均能进行记录和回放。用直接记录法时,可记录的最高信号频率为2兆赫。用 $\pm 30\%$ 调制度的调频记录法时,可记录的最高信号频率为500千赫。

明星电气公司买进三台带宽为半英寸、7磁道的这种磁带记录器,配上控制器、编码器和译码器后将传至中心的全部地震数字信号再插入时间信号,编成一定格式的串行数据(码速率为26.7千位/秒),用带速为每秒3.75英寸的记录速度在一个磁道上用延迟调制—传号(DM—M)记录法进行记录。因此记录密度约为7千位/秒。当磁带走到末端时就由控制器将信号自动换接至下一个磁道沿反方向进行记录。如此顺次进行,直到在第七磁道上记录而磁带已到末端时就自动切换到另一台同样的磁带记录器上进行记录。一个盘径为14英寸,带长9200英尺的磁带可连续记录48小时。记录质量:当使用3M888(磁带型号)磁带时,误码率在 1×10^{-6} 以下。当使用3M871的磁带时,误码率在 2×10^{-5} 以下。

在札幌中心有一套数据处理系统(图1—14,图1—15)。整套设备是由美国进口的。主机型号为MODCOMP IV/35B。内存容量128千字节,有浮点运算硬件。2048个数据进行快速付氏变换约需5秒钟。外围设备有一台磁带机、二台磁盘机(每台容量24.6兆字节)、一台宽行打印机、一台卡片读出机、一台控制台显示器、一台纸带读出器、一台有硬复制设备的图形显示器、一台X—Y坐标读取装置和一套MODAC子系统设备。

数据处理分二部份(图1—16):一是日常处理、一是有选择的波形分析。日常处理是每天进行,今天处理昨天的数据。又可分为二部份:一是将连续记录在高密度磁带记录仪上的地震进行编辑。为此还有一台专供记录已编辑好的地震数据的高密度磁带记录仪。另一部份是利用X—Y坐标读取装置,由分析人员在可见记录地震图上判读和输入P、S震相到时和持续时间后由计算机测定地震参数。处理结果存在磁带上。若在打印记录上发现处理结果有错,则重新判读震相到时后,再行测定。每天打印出地震目录和显示二天以上的微震震中分



图1—15 数据处理系统全貌图