第5卷 第4期 地震学报 Vol. 5, No. 4
1983年11月 ACTA SEISMOLOGICA SINICA Nov., 1983

768型大位移长周期地震计的研制*

琴朝智
(国家地震局地球物理研究所)
郑炳钧
(上海市地震局)

摘　　要

本文介绍的两套地震计是为电信传输地震台网配套设计的. 目的是拾取周期较长、位移较大的地震信号. 其特点是周期长,灵敏度高,多量程,稳定性好,结构紧凑,体积小. 仪器采用了簧片轴承及零长弹簧. 因而振幅-周期效应小,摆位-周期效应小. 调试情况表明,长周期地震计要取得良好的性能,在很大程度上依赖于耐心细致的调整. 记录情况表明地震计性能良好,符合设计要求.

一、概　述

我国电信传输地震台网(简称"768工程")要配备三分向中长周期测震仪器系统(频带为0.05—3赫兹,放大倍率为千倍级及百倍级)和三分向中强度测震仪器系统(频带为0.05—3赫兹,放大倍率为十倍级及一倍级)以及三分向长周期大动态数字测震系统(100分贝浮点增益选频型),以保证台网具有完整的测震频段和量程,达到监视台网控制范围内的微震活动、准确测定国内外重要地震的基本参数和完整取得各类地震记录资料的目的. 为此,对安装在台网内各点的拾震器要求固有振动周期长,动态输出大,性能稳定,体积小,能实现遥控或定时自动调零与标定.

我国目前已有的763型和CS-1型长周期拾震器除了固有周期能满足要求外,动态范围或其它一些指标尚不能达到上述要求, 故须新设计两套三分向拾震器——768型大位移长周期地震计(其中包括768中长周期地震计和768中强震地震计).

二、主要技术指标

仪器技术指标的主要项目见表1.

三、理论分析

要求仪器能在较长的固有周期上有较大的输出,并且在记录大位移时不失真,这是互

* 1982年6月7日收到.

http://www.dizhenxb.org.cn

表 1

项 目	中 长 计	中 强 计
1.固有振动周期 (秒)	≥20	≥20
2.可记录最大地动位移(毫米)	±5	±50
3.换能器输出灵敏度 (伏秒/厘米)	10	1
4.在 −15°—+45℃ 内周期稳定性要求	$\frac{\Delta T}{T}<0.05/℃\cdot 12^h$	
5.在各自可测范围内输出线性度误差	<5%	
6.在各自可测范围内振幅-周期效应	<5%	<7%
7.在各自可测范围内摆位-周期效应	<5%	
8.整机寄生共振频率(赫芝)	>20	

相矛盾的要求：为了扩大动态范围确保不失真，应当采用直线型运动系统，但这种悬挂方式的固有周期不可能很长；旋转型复摆系统要扩大动态范围也有许多困难．因而只有在结构参数的选择上来解决这些矛盾，使之既能达到较长的固有周期，又可消除这种结构带来的各种失真现象．

对于复摆的运动，可以根据 D'Alembert 原理

$$K\ddot{\theta}=M(\theta)$$

如果所受力矩仅取 $M=-C\theta$ 的形式，则复摆的运动方程为

$$\ddot{\theta}+\frac{C}{K}\theta=0$$

式中

$$C=\left.\frac{\partial M}{\partial\theta}\right|_{\theta=0}$$

摆的固有周期

$$T=2\pi\sqrt{\frac{K}{\left.\frac{\partial M}{\partial\theta}\right|_{\theta=0}}}$$

768 水平摆采用 Paschwitz 式结构(图 1)，上下用十字交叉式簧片轴承形成摆的旋转轴，作用在其上的力矩为

$$M(\theta)=-mgR_0\sin i\sin\theta-C\theta$$

对于微幅摆动的固有周期值为

$$T=2\pi\sqrt{\frac{K_1}{mgR_0\sin i+C}}$$

当 $(mgR_0\sin i+C)$ 很小时就可获得较长的固有周期，且当 $C\to 0$ 时不存在任何振幅-周期效应和非线性失真等现象[1]．

对于竖直向摆则采用 LaCoste 悬挂方式(图 2)，作用在活动系统上除重力矩 M_m 和弹性铰链力矩 M_c 以外，还有螺旋弹簧的力矩 M_L：

$$M(\theta)=M_L+M_m+M_c$$

http://www.dizhenxb.org.cn

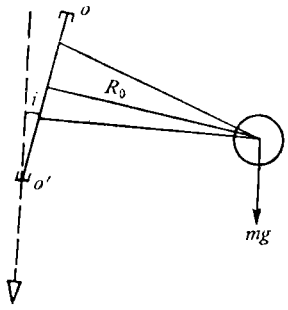


图　1

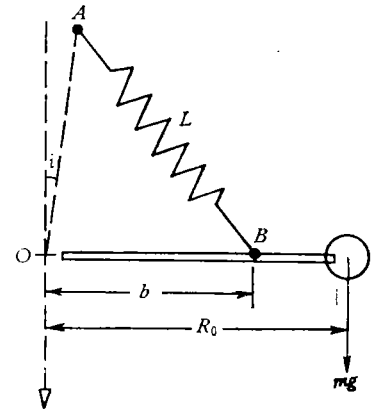


图　2

$$= C_p ab\left(1-\frac{\xi_0}{L}\right)\sin(\alpha_0+\theta)$$

$$-mgR_0\sin(\alpha_0+i+\theta)+C\theta$$

对总力矩 $M(\theta)$ 展开后，可以看到当周期较大时会出现各种失真效应．但当我们选择了零长弹簧 ($\xi_0=0$) 后，既可获得很长的固有周期，又可消除非线性失真现象[2]．

以上都是对在平衡位置附近作微幅振动的结果．当振幅较大时，必须考虑横向运动对摆系统的运动影响问题．通常对有一定线性阻尼的摆系统，受外力作用时，其强迫运动方程为

$$K\ddot{\theta}+F_1(\dot{\theta})+F_2(\theta)=-m\ddot{X}R_0$$

这是熟知的线性摆受单方向力作用时，产生一维微幅振动的运动方程式．当地面运动幅度较大时，除在摆的敏感方向 (X 向)受力外，其它两方向 (Y, Z 方向)也将对摆的运动有影响，这时，摆的运动方程将变为

$$K\ddot{\theta}+F_1(\dot{\theta})+F_2(\theta)=-mR_0[\ddot{X}-(\ddot{Y}\cos i-\ddot{Z}\sin i)\sin\theta]$$

会出现两种共振现象[3]．理论分析指出，为消除这两种共振现象，必须使 $i\to 0$ 和 $D\gg\frac{Y_m}{l_0}$，以使摆的运动与摆动的角位移和角速度无关．

四、结 构 设 计

在 768 拾震器的设计中，充分考虑到上述各条件，使摆在运动时只受重力和弹性恢复力的作用，而阻尼系统则取动圈式速度型的阻尼器，以保证周期和阻尼与 θ 无关；其次，合理设计旋转轴的簧片厚度，使仪器工作在 $i=0$ 的状态下，避免运动幅度加大时横向运动的影响；此外，当仪器最大可记幅度 Y_m 确定后，适当选择折合摆长 l_0 及工作阻尼 D 的数值，确保 $D\gg\frac{Y_m}{l_0}$ 条件，避免共振．例如中强地震计的 l_0 取得大于 1.2 米．

为了满足总体方案要求的不同技术指标，768 型大位移长周期地震计必须分开两体设计，一为输出量大的中等动态地震计，一为中等输出量的大动态地震计(在电信传输台

http://www.dizhenxb.org.cn

网中分别叫做中长周期地震计和中强震地震计，以下分别简称“中长计”和“中强计”）．二者结构参数见表 2．

表 2 仪器结构参数

结构量		中长计		中强计	
		水平向	竖直向	水平向	竖直向
摆系统重量	（公斤）	10	10	11.5	12.4
摆系统转动惯量	（公斤·米²）	0.66	0.73	0.45	0.45
摆系统折合摆长	（米）	0.30	0.30	1.27	1.20
指示摆长	（米）	0.40	0.40	0.20	0.20
第一线圈匝数		23000	23000	33000	33000
第二线圈匝数		2300	2300	3300	3300
第一线圈内阻	（千欧）	<70	<70	80	80
第二线圈内阻	（千欧）	<2	<2	1.2	1.2
标定线圈内阻	（欧）	<35	<35	<40	<40
谐振频率	（赫）	—	>20	—	>50
外形尺寸	（米³）	0.58×0.33×0.35	0.62×0.35×0.46	0.56×0.31×0.29	0.61×0.34×0.43
重量	（公斤）	31	35		

照片 1（见书末图版，下同）为正常工作时加有抗压密封罩的三分向中长计；照片 2 为竖直向中长计；照片 3 为水平向中长计；照片 4 为竖直向中强计；照片 5 为水平向中强计．

为了简化结构并提高仪器性能指标，768 地震计在我国首次采用了组合式簧片轴承（“卡登簧”），其结构见照片 6．

两种仪器皆设有与主换能器在机电两方面均隔离的标定系统，可供每天定时遥控或自动检测及调节零位．中长计还装有差分式电容换能器，以便提高长周期频段的信号输出量．

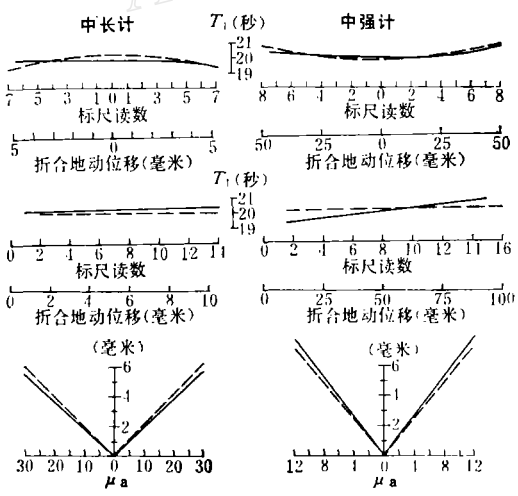


图 3 中长计及中强计的摆位-周期效应，振幅-周期效应和对称性

（实线为竖直向，虚线为水平向）

五、仪器的调节和测试

长周期地震计性能的好坏，除设计合理，加工精细外，在很大程度上还取决于仪器的安装与调试．

由于某些原因，有时 LaCoste 条件的达到与否，不可能只靠一些理论数据的达到为标准，而必须根据实测仪器性能来检验[4]．根据多次调试经验表明，只要掌握正确的调试方法，768 地震计性能是可以满意地达到设计要求的，且是稳定的．水平向关键在于簧片轴承弹率的调整，而竖直向主要是 LaCoste 条件，其中尤以弹簧零长度的调整更为重要．图 3 为 768 地震计摆位-周期效应，振幅-周期效应和对称性等性能的

http://www.dizhenxb.org.cn

表 3　768 中长计，中强计与美国 SPRENGNETHER S5100 型性能比较

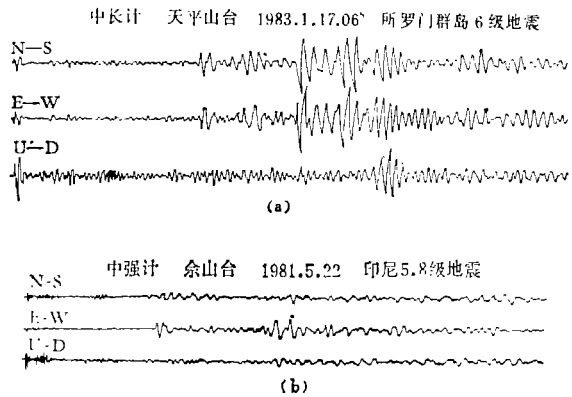
	S-5100-V 竖直向	768 中长计 竖直向	768 中强计 竖直向	S-5100-H 水平向	768 中长计 水平向	768 中强计 水平向
周期范围(秒)	7—40	>70	≮40	6.5—100	>67	≮60
换能器机电转换系数(伏秒/米)	85	1210	113	85	1210	100
摆位-周期效应	相当于地位移 9 毫米时<5% 相当于地位移 4 毫米时<2%	相当于地位移 5 毫米时<3%	相当于地位移 46 毫米时<8% 相当于地位移 18 毫米时<3%	相当于地位移 9 毫米时<5% 相当于地位移 4 毫米时<2%	相当于地位移 5 毫米时<5%	相当于地位移51 毫米时<4.5% 相当于地位移 19 毫米时<1%
摆位-输出效应	相当于地位移 9 毫米时 <2%	相当于地位移 5 毫米时<2%	相当于地位移 50 毫米时<5%	相当于地位移 9 毫米时<2%	相当于地位移 5 毫米时<3%	相当于地位移 50 毫米时<5%
振幅-周期效应		相当于地位移 ±5毫米时<1%	相当于地位移 ±50 毫米时 <5%		相当于地位移 ±5毫米时<1%	相当于地位移 ±50 毫米时 <1%
可记录最大地动位移(毫米)	~±9	±5	±50	~±9	±5	±50
竖直向弹簧谐振(赫)	>20	23	>50			
外形尺寸(长×宽×高)(厘米³)	67×41×48	62×35×46	61×34×43	69×51×41	58×33×35	56×31×29

测试结果。

表 3 列入两套地震计的主要性能，并引入目前国际通用的美国 Sprengnether 公司生产的 S5100 型拾震器的有关性能进行对比。

六、仪器现场观测结果

仪器自 1979 年起先后在上海佘山台，南汇临时观测点及苏州天平山地震台通过电信传输系统向记录中心遥传信号，记录正常。并以中长计在上海，北京等试验场地，多次与我国 G-763 型长周期检流计匹配记录 ($T_0 = 30$ 秒，$T_g = 100$ 秒)，与 763 型长周期地震观测系统进行过对比，证明仪器性能指标很稳定，完全可以进行长周期观测。图 4 为用中长计和中强计记录的一些实例。



http://www.dizhenxb.org.cn

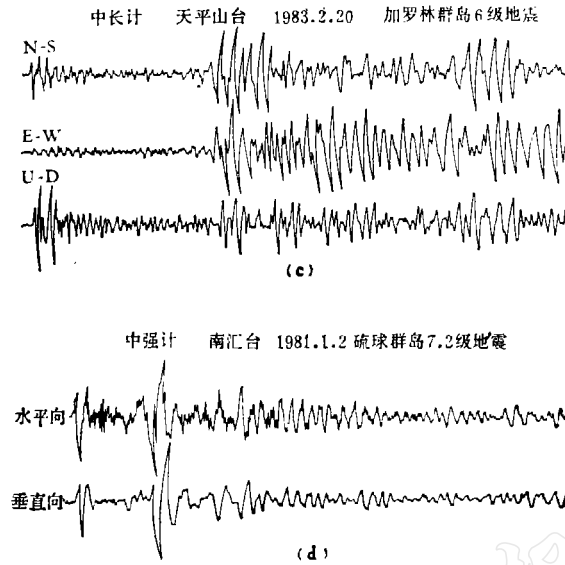


图 4 中长计及中强计记录实例

参加这两套仪器结构设计的有张伟清、沈善杰、叶鸿根；上海试验机厂有关同志参加了工艺设计、研制及现场调试工作；杨业钰参加了部分测试工作．此外，上海钢铁研究所二室、上海交通大学 550 教研组及上海佘山地震台都曾给予大力支持，在此一并表示衷心感谢．

参 考 文 献

[1] 叶林才，Lacaste 地震计的原理及其应用，地球物理学报，**24**，4，1981．

[2] В. Т. Архангельский, Вопросы теории длинно-периодного вертикального сейстометра, *изв. АН СССР, сер. геоф.*, 10, 1960.

[3] Д. П. Кирнос, Некоторые вопросы инструментальной сейстологии издательство, Изд. *АН СССР*, 1955.

[4] Ben. S. Melton, The La'coste suspension——principle and practice, *J. R. A. S.*, **22**, 5, 1971.

http://www.dizhenxb.org.cn

DESIGN AND CONSTRUCTION OF LONG PERIOD SEISMOGRAPHS TYPE 768 OF LARGE DISPLACEMENT

QIN CHAOZHI
(*Institute of Geophysics, State Seismological Bureau*)

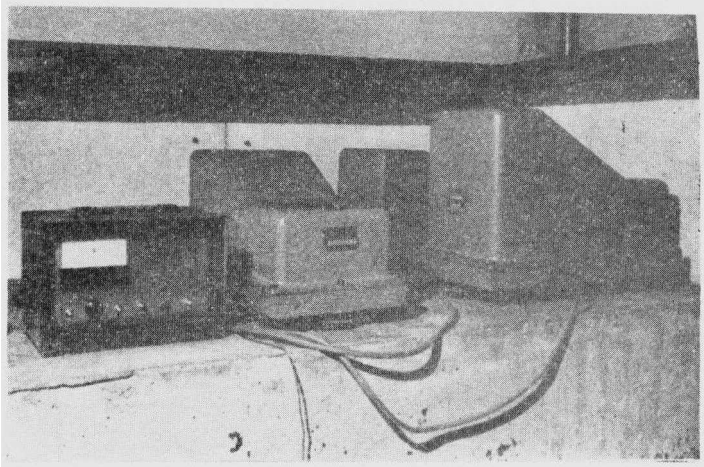
ZHENG BINGJUN
(*Shanghai Seismological Bureau*)

ABSTRACT

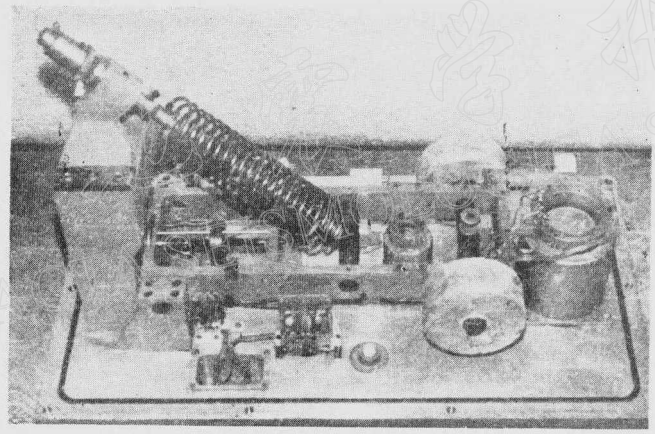
In this paper, it is described two sets of seismographs, specially designed and constructed to meet the requirements of telemetered seismic network for recording seismic waves with longer period and larger displacement. They are characterized by longer period, higher sensitivity, multiple recording range, good stability, compact and small size. Due to the adoption of flexural pivot and zero-length spring, the amplitude-period effect as well as the pendulum positionperiod effect are quite small.

Experience shows that in order to achieve good results of a long period seismograph, it depends on a large extent on the patience of the instrumental operator in carefully adjusting the system. Thus far these seismographs can be considered as satisfactory in operation, fulfilling all the design criteria initially set.

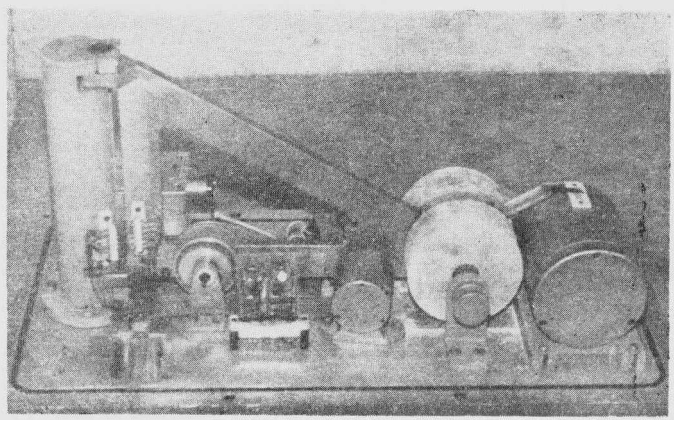
http://www.dizhenxb.org.cn



照片 1　三分向中长计

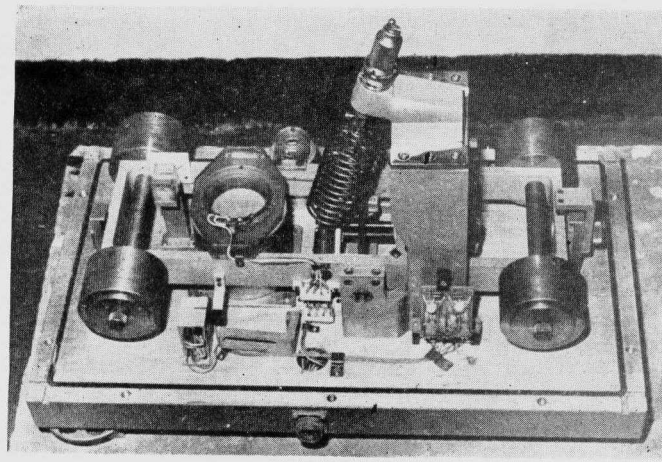


照片 2　竖直向中长计

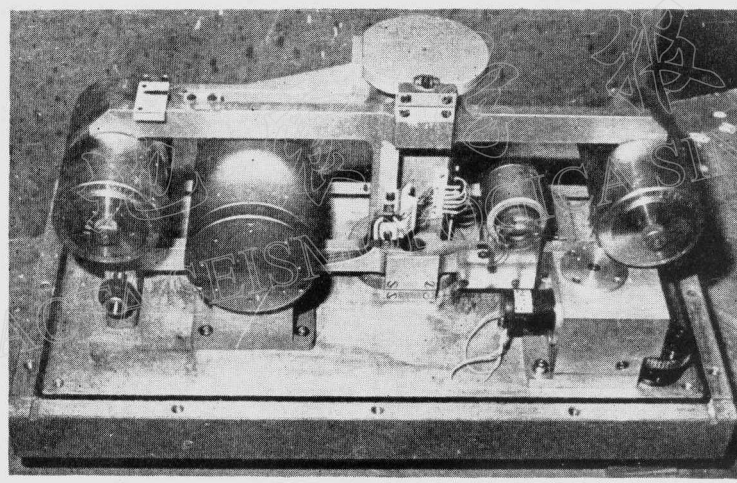


照片 3　水平向中长计

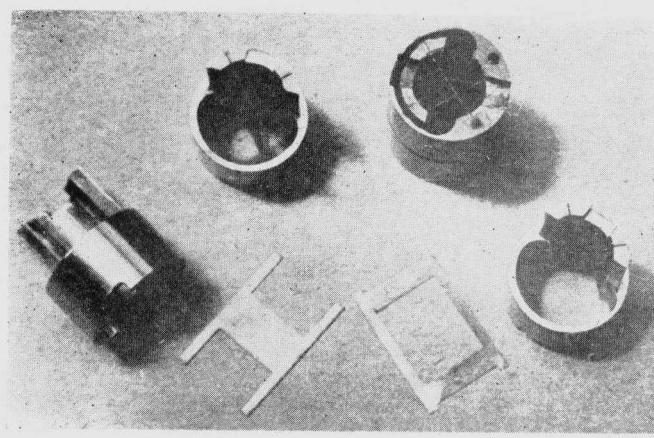
地震学报 SINICA



照片 4　竖直向中强计



照片 5　水平向中强计



照片 6　组合式簧片轴承

http://www.dizhenxb.org.cn