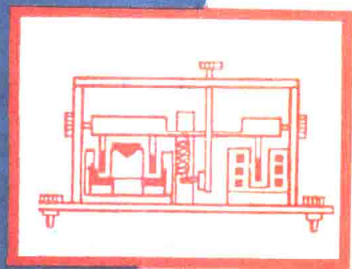


工程测试技术丛书

CZ测震仪 与测振技术



中国铁道出版社

工程测试技术丛书

CZ测震仪与测振技术

应怀樵 编

中国铁道出版社

1982年·北京

工程测试技术丛书

CZ测震仪与测振技术

应怀樵 编

中国铁道出版社出版

责任编辑 蒋传漪

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张：4.25 字数：86千

1982年1月第1版 1982年1月第1次印刷

印数：0001—3,000册 定价：0.45 元

内 容 简 介

全书共分七章，包括工程测振和测振仪概述，CZ-S 型拾震器，CZ-F 型放大器，测震仪的调整和使用、标定和参数测定，维护与故障排除，以及振动测试中的一些重要问题。

本书可供从事振动测试和分析、仪器和传感器设计研制等科研和生产人员，大专院校有关专业师生参考。

本书原稿经徐慧同志校阅修改，周宏业同志审阅。

目 录

第一章 工程测振和测振仪概述	1
第一节 工程测振的特点.....	1
第二节 测振技术的基础和发展.....	2
第三节 CZ型测震仪的组成概况	5
第二章 CZ-S型拾震器	8
第一节 CZ-S型拾震器的构造和工作原理	8
第二节 拾震器的设计特点.....	14
第三节 主要参数的设计计算.....	19
第四节 CZ-S型产品研制中的问题和技术 指标.....	26
第三章 CZ-F 型测震放大器	31
第一节 仪器的结构布置和部件功能.....	31
第二节 工作原理和微积分网路.....	35
第三节 主要参数设计计算和技术指标.....	40
第四节 设计特点和研制中的体会.....	48
第四章 CZ 型测震仪的调整和使用	51
第一节 CZ-S型拾震器的调整和使用	51
第二节 CZ-F 型放大器的操作方法.....	57
第三节 CZ 型测震仪的配套应用.....	63
第五章 CZ 型测震仪的标定和特性参数的测定	65
第一节 典型特性参数的测定.....	66
第二节 测震仪的标定.....	71
第六章 CZ 型测震仪的使用维护和故障排除	76

第一节	测震仪的使用维护和注意事项	76
第二节	CZ 型测震仪常见故障的排除	80
第七章	振动测试中的一些重要问题	82
第一节	测振系统的配套组成及对测试范围的影响	83
第二节	合理选择仪器的重要性	88
第三节	仪器的量程范围、微积分变换、传递过程对测试的影响	92
第四节	测振仪器的频率选择和滤波	96
第五节	振动和各种动态测试仪器的阻抗匹配问题	101
第六节	仪器的安装固定问题	106
第七节	冲击和连续振动中仪器的频响误差问题	107
附 录		109
附录一	CZ-F型测震仪电原理图	109
附录二	CZ-S型拾震器部分特性参数实测值和标定记录、标定曲线实例	109
附录三	拾震器和单自由度结构幅频特性及 $D-\beta$ 关系表	109
主要参考文献		128

第一章 工程测振和测振仪概述

第一节 工程测振的特点

工程振动问题，在交通运输、铁道建筑、工程爆破、振动探矿、机械工程、工业和民用建筑，以及国防工程等各个部门都广泛地存在着。工程振动的测试和分析作为测振学的一大分支，其重要性越来越为人们所认识。

工程振动的测试技术和仪器，与具有悠久历史的地震观察的测试技术和地震仪器相比，是有差别的。虽然，它们在某些基本原理上有共同之处，但对很多具体对象测试和使用的仪器要求，均具有明显的区别。工程振动的测试对象繁多，测量幅度较大。被测结构形式多种多样，尺寸大小不一，频率有高有低，振动时间有长有短。需测的振动参量类型较多，包括各种线运动和角运动的位移、速度、加速度和频率、阻尼、相位等等。这样，就使得工程振动的测试技术难度较大，对测试仪器的要求较高。

在一般工程振动的测量中，经常遇到的有一些是低频大位移的振动问题，特别是在铁路桥梁、船舶交通、工程抗震和战备地下工程中，这个问题更为突出。这类工程振动的特点是：振动频率范围广，振幅范围大，多属随机振动波和复合振动波。它具有丰富的中、低频成分，又有幅值较大、频率很低的阶跃型位移；有近似连续的衰减振动，又有冲击型的瞬态振动。其振动量的主要范围，频率在 $0.5 \sim 50$ 赫兹，振幅在 $0.001 \sim 50$ 毫米的范围内连续变化。因此，要求测振仪器有较宽的适应性，在变化的频率和幅值范围内能连续测

量。为适应于野外流动性大和一些特殊环境下的安装使用，还要求仪器有一定的耐震能力，能经得起一般的中强振动（几个 g 到十几个 g ），有较好的抗干扰性能，而且要求仪器使用功能多，体积小，重量轻，携带方便。

新研制成功的 CZ 型测震仪，就是按照这些需要和技术要求而设计的。

第二节 测振技术的基础和发展

一、振动测量的方法

振动的各种参量可以用不同的方法测量出来，若按测量过程的物理性质来区分，测量方法主要可以分为下列三种类型：

1. 机械式测量方法：将被测量的振动参量转换成测振仪器的机械移动或变形等信号，经机械杠杆放大以后，由电动式或机械式记录装置记录。

2. 光学式测量方法：将被测量的振动参量由弹性系统转换成光学信号，经光学系统的光路光臂放大作用，用感光胶片和传动装置进行记录。

3. 电学式测量方法：将被测振动参量转化为电阻、电容、电感、或磁电、压电、光电、热电等等形式的电信号，经电子系统放大后测量记录。

在早期的测振工作中，机械式和光学式的测量方法较多；而到目前，随着电子技术的广泛应用，测振方法多数发展为电学式测量方法。因为通过电学测量，不论是拾振方面还是放大、记录和数据分析处理方面，都有其明显的优越性和特殊功能，乃是其它两种方法特别是机械式的方法无法比拟的。因此，目前的重点是研究和了解电子学的测试方法。

近年来，半导体元件和激光技术在振动测试仪器中也越来越多地得到了推广和应用。

二、振动测量过程中的几个环节

在振动测试过程中，上述三类测量方法的物理过程虽然各不相同，但是组成测量配套系统的主要环节是相类似的，其基本环节有下列三个：

（一）拾振环节

拾振环节是把被测的振动信号转换为机械的、光学的或电学的信号，完成这项转换工作的器件称作传感器或拾振器。传感器的种类很多，按照转换后的信号与振动参量之间的关系来区分，振动参量传感器主要有三类：

1. 位移传感器：输出信号与被测振动信号的位移成正比。
2. 速度传感器：输出信号与被测振动信号的速度成正比。
3. 加速度传感器：输出信号与被测振动信号的加速度成正比。

（二）放大环节

放大环节的作用是把传感器转换后的信号进行放大，可通过机械、光学或电学系统放大。目前应用较多的是各种电子放大器，如微积分放大、电压放大和电流放大，以及滤波放大器等。

（三）显示记录环节

显示记录环节是把放大后的振动信号显示(指示)或记录下来。显示记录装置除了指示表头、数字显示形式外，常见的记录器有笔式记录器、感光胶片记录器、光线振子示波器、电子示波器、磁带记录器以及新近发展应用的数据贮存记

录器等。目前应用较多的是笔记录器、光线振子示波器和磁带记录器。

拾振、放大和显示记录三个环节，可以同在一台仪器仪表里，如某些机械式测振仪。也可以分装成几个仪器，然后再配套组成测振系统。一般配套测振系统多由拾振、放大和记录三部分仪器组成。

三、常见振动测试仪器的分类

振动测试仪器种类繁多，常用的振动测试设备包括测振仪器和激振仪器以及分析处理仪器。就振动测量仪器和激振仪器部分而言，大致可分为下述几种类型：

测振仪器

1. 电测方式，包括磁电式（电动式）、压电式、电阻式（电阻应变片式等）、电感式（电感、差动变压器、电感涡流、变磁阻、磁弹性）、电容式（差容式）、电磁式（涡流）、伺服式（反馈式或力平衡式）等；

2. 机测方式，包括机械式（杠杆式、手持式、摆式）、百分表式、共振式频率计等；

3. 光测方式，包括感光式地震仪、激光测振仪、闪光测频仪、读数显微镜等；

4. 直观法——振动标尺。

激振设备包括激振器和振动台。一般有机械式（曲柄式和偏心块式）、电磁式、压电式、电控液压式、气动式等。

测振仪从测量方法上划分，可分为接触式和非接触式。接触式是指测振仪的传感器与被测物体有机械接触（耦合），一般要把传感器的一部分或全部连接在被测物体上，而非接触测量则没有这种连接。测振仪从测量振动坐标体系划分，可分为绝对式和相对式。绝对式是以大地为坐标参考点的惯

性式仪器，而相对式一般是指测量被测对象两点之间相对振动参量的仪器。有关这些，请参阅《振动测试和分析》一书第二章，这里不再详述。

四、测振技术的发展

随着科学技术的发展，测振技术和测试仪器也在不断地提高和完善。目前，微电子技术和集成电路技术以及数据处理系统的小型化，正促使振动测试仪器向高、精、尖、自动化发展，向着数字化小型化发展，提高了测试精度和分析的效率。同时，各种形式的换能器也正在不断地研究改进，提高其性能指标和工艺水平，探索新的换能方法。

关于振动测试理论、测试技术和测试方法的探索和研究工作，已有显著进展，并取得不少成果。目前，数据处理和分析方法日趋完善，随着电子计算机的广泛使用，振动分析水平得到了显著的突破，各种高性能的、通用的和专用的数据处理机已经投入使用。振动测试技术，在我国现已开始进入一个崭新的阶段。

第三节 CZ型测震仪的组成概况

一、CZ型测震仪概况

CZ 型测震仪曾取名77型测震仪，也称为桥梁振动仪。它由CZ-S型（曾名ZS-77型）拾震器和CZ-F型（曾名ZF-77型）测震放大器两件仪器组成。它们可以相互配合使用，也可以单独与其它仪器配合使用。CZ 型测震仪配上磁带记录器，或者配上光线示波器等记录设备，可供铁路桥梁、土木建筑、地基基础、爆破工程等振动参数的测量之用。例如：与FC-6-120 振子配套使用时，全系统的放大倍数可达

25000 倍以上，可测量微小的振动，也可以测量数十毫米级的大位移振动。

CZ-S型拾震器实物照片见图 1—1，CZ-F 型测震放大器的实物照片见图 1—2。

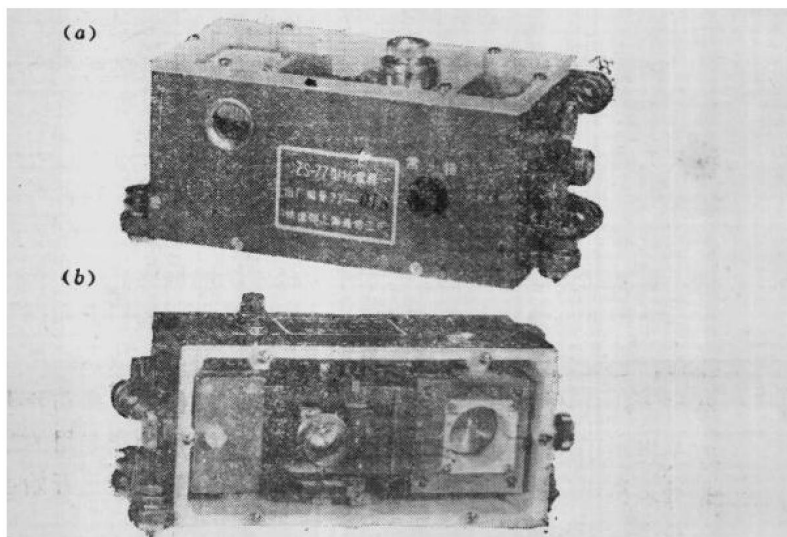


图 1—1 CZ-S型拾震器外形照片
(a) 垂直向安装，(b) 水平向安装。

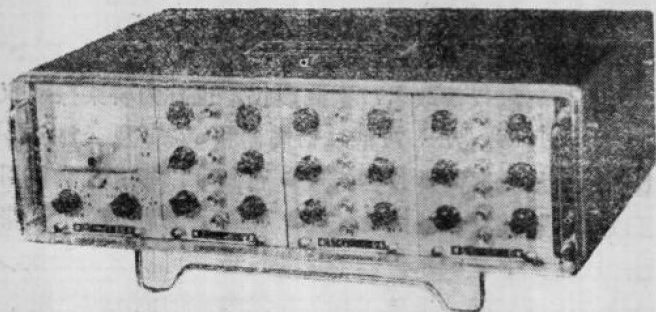


图 1—2 CZ-F型测震放大器外形照片

二、CZ型测震仪测试框图

CZ-S 型拾震器有电动式和电感差动变压器式两种换能器。测量时，能同时输出振动位移和速度两个振动参量的信号。电动端换能器配合CZ-F 型测震放大器可以测量振动位移、速度、加速度等三个参量，以及频率、相位、阻尼等量；电感端换能器则配合一般的差动变压器式放大器或者应变仪，可测量位移。

CZ-F型放大器是一个采用集成电路的有源微积分放大器。

CZ 型测震仪配上合适的记录设备即可测量各种振动参量，它们的工作原理方框图如图 1—3 所示。

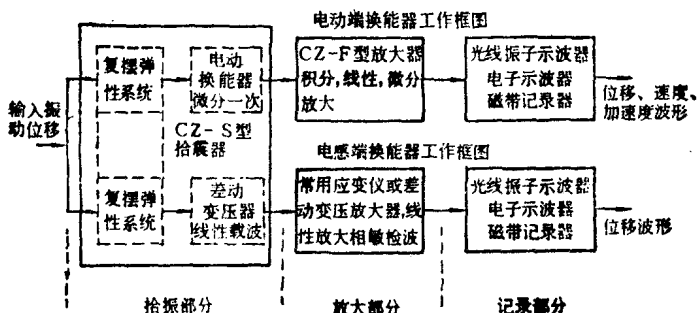


图 1—3 CZ型测震仪测试原理框图

CZ 型测震仪的拾震部分与放大器部分是作为两个独立仪器生产的，配用比较灵活方便。除了图 1—3 测试框图所示的组成形式外，CZ-S 型拾震器的电动端也可配合其它一些测振放大器使用。拾震器的电动端与电感端可同时配两套仪器测试，每端也可单独测试，互不影响。CZ-F 型放大器除与CZ-S型拾震器配套使用外，也可与其它拾震器如65型、

701型等拾震器配套使用。使用方便，适应性较强。关于CZ型测震仪的构造、原理、性能、指标，将在二、三章作详细介绍。

第二章 CZ-S型拾震器

CZ-S型拾震器是将被测物的振动运动量接收并转换成电信号输出的仪器。在同台仪器内装有电动式（磁电式）和电感差动变压器式两种换能器，可以同时分别送出感应电压和差动互感电压两种信号。它与适当的放大器（CZ-F型测震放大器和差动变压放大器或应变仪等）和记录装置（光线振子示波器、笔记录器或磁带记录器等）配合，可以进行工程振动及其振动试验的参量量测。它与CZ-F型放大器配套，可测得振动位移（振幅）、速度、加速度和频率等参量。它与差动变压器或应变仪配套时，可测得振动位移和频率。

第一节 CZ-S型拾震器的构造和工作原理

一、拾震器的构造

CZ-S型拾震器根据耐振能力的不同分为CZ-SI型（十字簧片式铰结）和CZ-SII型（轴承和U型簧片式铰结）两种类型。它们除铰结部分不同外，其余部分的结构基本相同，性能相似。仪器可以垂直向、水平向两用，调节使用方便。仪器主要由复摆弹性系统和电信号换能器两大部分构成，结构形式见示意图2—1。

复摆系统是由摆（包括惯性块、线圈架、摆杆、摆固定块等部件）、铰结部分、支架和螺旋拉簧所组成的一个弹性

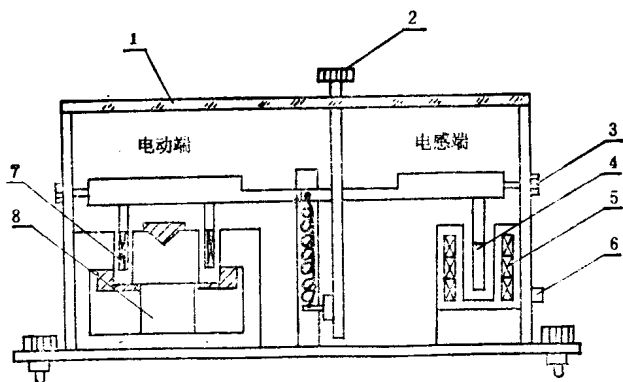


图 2-1 CZ-S型拾震器结构示意图

1——有机玻璃盖板；2——调弹簧手轮；3——固定螺丝；4——可动铁芯；5——电感差动变压器；6——输出插销；7——电动机；8——磁钢。

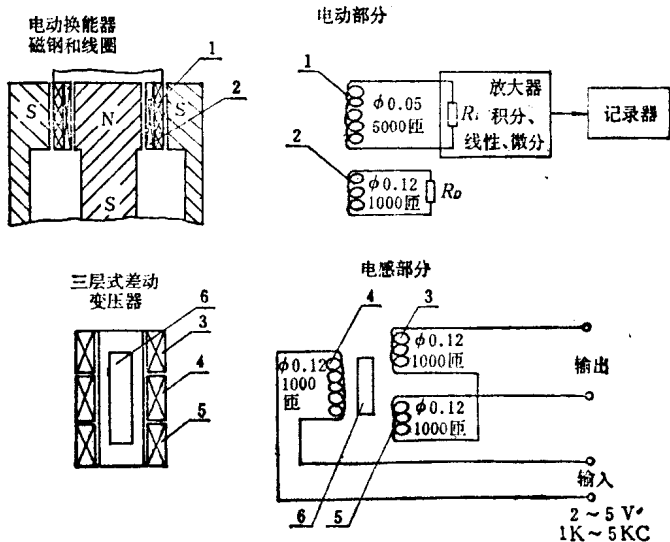


图 2-2 换能器结构和配线示意图

1——工作线圈；2——阻尼线圈；3——次级线圈1；4——初级线圈；5——次级线圈2；6——铁芯。

振动系统。复摆的两端分别装有电动式和电感式两种换能器。电动式换能器由电动线圈(螺旋管式)与固定在底座上的永久磁钢组成,乃是一个动圈型电动换能器。电感式换能器由可动铁芯和固定在底座上的三层式线圈组成,乃是一差动变压器式电感换能器。换能器的结构和配线示意图见图 2—2。

二、拾震器的工作原理

CZ-S型拾震器是一个位移摆,其工作原理如图 2—3 所示。

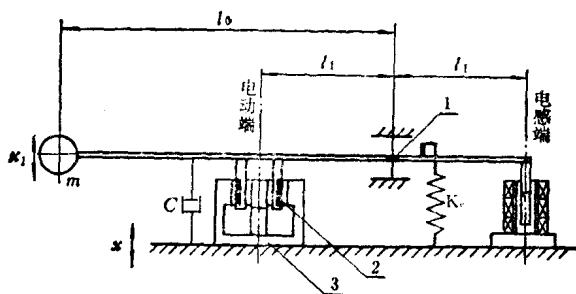


图 2—3 拾震器工作原理示意图

1——转动中心；2——线圈；3——磁钢； m ——摆的等效集中质量； l_0 ——折算摆长； l_1 ——指示摆长(线圈中心轴到转动中心的距离)； K_c ——弹簧刚度系数； C ——阻尼力系数。

当基座随测点的位移运动时，一端的电动线圈与磁钢产生相对运动，其相对运动量与外界被测点的位移成正比。这样，线圈在磁场中运动，产生感应电动势，而感应电动势的大小与切割磁力线的速度成正比。因此，换能器本身的输出量对输入的振动位移微分了一次，使电动端的输出量(电动势或电压)与输入振动速度成正比。与此同时，另一端的电感线圈与可动铁芯也产生相对运动，由于铁芯进入线圈的深

度变化，而引起差动变压器的两组次级线圈电感不对称，输出差动电压，其输出量与外界振动位移成正比。

1. 拾震器的运动方程

拾震器的运动方程可写为：

$$J \frac{d^2 \theta}{dt^2} + C \frac{d \theta}{dt} + K_c \theta = -\frac{J}{l_0} \frac{d^2 x}{dt^2} \quad (2-1)$$

设外界强迫振动方程为：

$$x = A \sin \omega t \quad (2-2)$$

令

$$\omega_0^2 = \frac{K_c}{J}, \quad D = \frac{C}{2\omega_0 J}$$

代入方程 2-1 可得：

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + 2\omega_0 D \frac{d \theta}{dt} + \omega_0^2 \theta = -\frac{A \omega^2}{l_0} \sin \omega t \quad (2-3)$$

式中 J —— 摆的转动惯量；

ω_0 —— 摆的自振圆频率；

θ —— 摆的角位移；

D —— 阻尼常数；

ω —— 被测频率；

A —— 被测振动振幅。

方程 2-3 式稳态部分的解为：

$$\theta = \frac{A}{l_0} \frac{U^2}{\sqrt{(1-U^2)^2 + 4D^2 U^2}} \sin(\omega t + \varphi) \quad (2-4)$$

式中

$$U = \frac{\omega}{\omega_0}$$

当摆的角位移很小时，摆的位移 $x_1 \approx l_0 \theta$ ，则