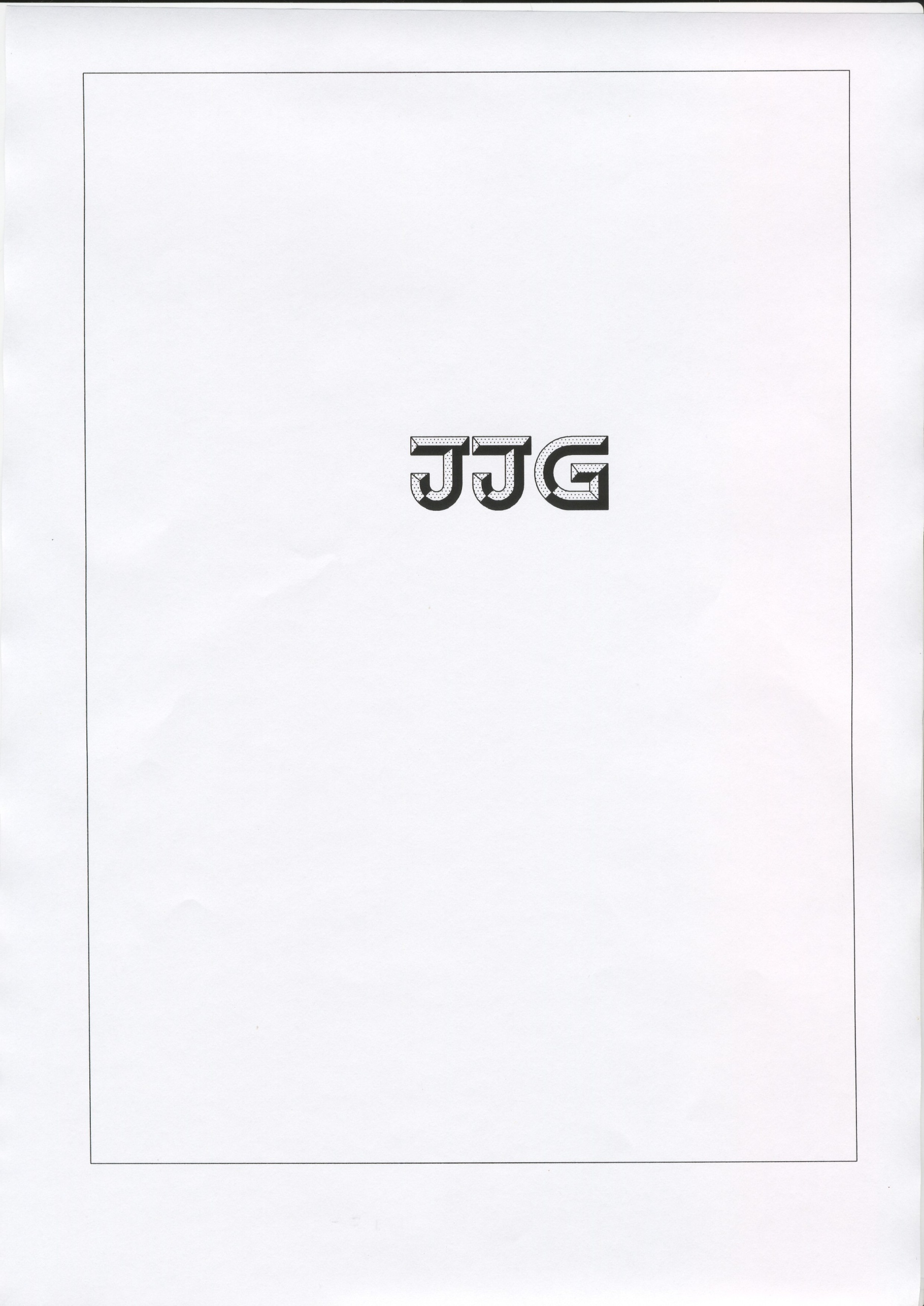
****

中华人民共和国国家计量检定规程

JJG XXX-XXXX

地表地震计

Ground Seismometer

（征求意见稿）

20XX-XX-XX发布 20XX-XX-XX实施

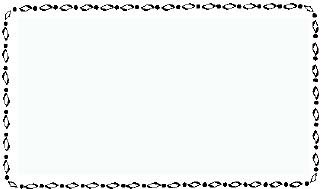
国家市场监督管理总局 发布

JJG xxx-xxxx

地表地震计检定规程

Verification Regulation of

Ground Seismometer



JJG XXX-XXXX

归 口 单 位：全国地震专用计量测试技术委员会

主要起草单位：中国地震局地震预测研究所

中国计量科学研究院

参与起草单位：中国地震局第一监测中心

中国地震局地球物理研究所

浙江大学

本规程委托全国地震专用计量测试技术委员会负责解释

本规程主要起草人：

王洪体 （中国地震局地震预测研究所）

左爱斌 （中国计量科学研究院）

林 湛 （中国地震局地震预测研究所）

参与起草人：

赵立军 （中国地震局第一监测中心）

马洁美 （中国地震局地球物理研究所）

何 闻 （浙江大学）

薛 兵 （中国地震局地震预测研究所）

目 录

[引 言 II](#_Toc30394)

[1 范围 1](#_Toc22761)

[2 引用文件 1](#_Toc6821)

[3 术语 1](#_Toc4167)

[4 概述 1](#_Toc8778)

[5 计量性能要求 2](#_Toc23171)

[5.1 灵敏度 2](#_Toc2520)

[5.2最大横向灵敏度比 2](#_Toc25614)

[5.3 最大观测速度 2](#_Toc3132)

[5.4 幅值响应 2](#_Toc24816)

[5.5 幅值线性度 2](#_Toc26121)

[5.6 固有周期 2](#_Toc19532)

[5.7 阻尼系数 3](#_Toc31562)

[5.8 短周期自噪声 3](#_Toc31562)

[5.9 长周期自噪声 3](#_Toc31562)

[6 通用技术要求 3](#_Toc16814)

[6.1 随机资料及外观检查 3](#_Toc19034)

[6.2 温度变化适应性要求 3](#_Toc23290)

[7 计量器具控制 3](#_Toc11939)

[7.1 检定条件 4](#_Toc21182)

[7.2 检定项目 5](#_Toc14871)

[7.3 检定方法 5](#_Toc13888)

[7.4 检定结果的处理 11](#_Toc17808)

[7.5 检定周期与使用中检查 11](#_Toc1196)

[附录 A 阶跃响应振幅谱拟合计算地震计固有周期和阻尼系数的算法 12](#_Toc3514)

[附录 B 正弦电信号法检查地震计工作状态的方法 14](#_Toc22110)

[附录 C 计算地震计低自噪声的算法 16](#_Toc27706)

[附录 D 地震计温度适应性检查方法 19](#_Toc18875)

[附录 E 地表地震计检定证书内页格式 20](#_Toc18599)

[附录 F 地表地震计检定通知书内页格式 23](#_Toc26500)

## 引 言

本规程以JJF1001《通用计量术语及定义》、JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》、JJF1059.1《测量不确定度评定与表示》和JJF1094《测量仪器特性评定》作为基础性系列规范。

本规程为首次发布。

地表地震计检定规程

## 范围

本规程适用于以微振动速度作为观测物理量的地表地震计的首次检定、后续检定和使用中检查。

本规程也适用于可用于地表观测的浅井地震计。

## 引用文件

JJG 2054-2015 振动计量器具

JJF 1156-2006 振动 冲击 转速计量术语及定义

GB/T 20485.11-2006/ISO 16063-11:1999振动与冲击传感器校准方法第11部分：激光干涉法振动绝对校准

DB/T 21-2007 地震观测仪器进网技术要求 常用技术参数表述与测试方法

凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本规程；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规程。

## 术语

JJF 1001及DB/T 21-2007 界定的及以下术语和定义适用于本规程。

### 3.1 参考频率 reference frequency

灵敏度、线性度偏差检定时使用的正弦信号频率，单位:Hz。

注：固有周期小于2s的短周期地震计参考频率为5 Hz，其它地震计参考频率为1 Hz。

### 3.2 灵敏度 sensitivity

参考频率点地震计单位输入振动速度产生的输出电压，单位：Vsm-1。

3.3 幅值灵敏度响应波动 fluctuation of amplitude sensitivity response

实测灵敏度与参考频率点灵敏度之百分比与100%的差。

3.4 长周期自噪声 long period self noise

地震计自噪声在100s处的加速度功率谱密度值，单位：m2s-4Hz-1。

3.5 短周期自噪声 short period self noise

地震计自噪声在短周期频段内积分有效值，单位：ms-1。

## 概述

地表地震计(以下简称地震计)是利用惯性摆传感地面X、Y、Z三个正交方向运动，并将其转换为电压信号的测量仪器，一般采用双端平衡差分输出方式。当前常用的地震计一般采用力平衡结构，通过电子线路的反馈获得目标固有周期和阻尼。大部分地震计内置标定线圈，当电流通过标定线圈时，会产生一个作用于摆锤上的电磁力推动摆锤运动，用于在线检查、测试。地震计需具有整体水平调整和自动摆锤平衡调节功能。

地表地震计常安装于硐室、野外地面、浅坑中进行观测，在实际安装中，通过方向标识使Y方向与正北方向保持一致，以观测安装场地的垂直(UD)、东西(EW)、北南(NS)三个方向的振动。根据固有周期不同，分为短周期地震计、宽频带地震计、甚宽频带地震计和超宽频带地震计。

## 计量性能要求

### 5.1 灵敏度

以标称灵敏度为基准，最大允许误差（参考频率点）：±3%。标称灵敏度常见值有：2000 Vsm-1，1500 Vsm-1，1000 Vsm-1等。

### 5.2最大横向灵敏度比

应当在2%以内（参考频率点）。

### 5.3 最大观测速度

≧9 mm/s(频率f≦10Hz)；≧5 mm/s(10 Hz<f≦30 Hz)。

### 5.4 幅值响应

各类地震计幅值灵敏度响应波动范围见表1。

1. 幅值灵敏度响应波动限差

|  |  |
| --- | --- |
| 地震计类型 | 幅值灵敏度响应波动范围 |
| 短周期地震计 | -5%～5%（10 Hz≤f≤30 Hz）  -30%～10%（30 Hz＜f≤40 Hz） |
| 宽频带地震计 |
| 甚宽频带地震计 |
| 超宽频带地震计 | -5%～5%（0.1 Hz≤f≤7 Hz）  -30%～10%（7 Hz＜f≤10 Hz） |

### 5.5 幅值线性度

参考频率点测量，短周期地震计：≧99.8%，其他地震计：≧99.9%。

### 5.6 固有周期

以标称固有周期为基准，最大允许误差：±3%。各类地震计的标称固有周期见表2。

1. 各类地震计标称固有周期

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 地震计类型 | 标称固有周期 /s |
| 1 | 短周期地震计 | 2 |
| 2 | 宽频带地震计 | 60 |
| 3 | 甚宽频带地震计 | 120 |
| 4 | 超宽频带地震计 | ≧360 |

### 5.7 阻尼系数

阻尼系数理想值为0.707，最大允许误差：±3%。

### 5.8 短周期自噪声

要求见表3。

1. 各类地震计自噪声要求

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地震计类型 | 长周期自噪声限值 /(m2s-4Hz-1) | 短周期自噪声限值 /(m/s) | 短周期自噪声 计算频带 /Hz |
| 短周期地震计 |  | 5×10-9 | 1 ～ 40 |
| 宽频带地震计 | 2.5×10-17 | 3×10-9 |
| 甚宽频带地震计 | 2.5×10-17 | 3×10-9 |
| 超宽频带地震计 | 1×10-18 | 5×10-10 | 1 ～ 10 |

### 5.9 长周期自噪声

要求见表3。

## 通用技术要求

### 6.1 随机资料及外观检查

6.1.1 依据随机资料检查地震计介绍。检查送检仪器是否符合本规程概述中有关地震计的描述。厂家应当在随机资料中提供标称灵敏度、固有周期等信息。

6.1.2 地震计铭牌或外部明显标出型号、出厂编号和安装方向标识、摆体水准显示，地震计壳体应无明显机械损伤。

### 6.2 温度变化适应性要求

地震计应能够在-20℃～50℃的温度范围内正常工作。

短周期、宽频带和甚宽频带地震计，以调零时的环境温度为基准，当环境温度变化不超过±15 ℃，且不超出正常工作温度范围时，能够在不进行摆锤零位调整的情况下正常工作，其摆锤零位偏移量应不超出满幅值50%。

超宽频带地震计，以调零时的环境温度为基准，当环境温度变化不超过±5 ℃，且不超出正常工作温度范围时，能够在不进行摆锤零位调整的情况下可正常工作，其摆锤零位偏移量应不超出满幅值50%。

## 计量器具控制

计量器具控制适用于：首次检定、后续检定。

### 7.1 检定条件

#### 检定环境条件

* + - 1. 实验室环境条件：
    1. 环境温度：(23±3)℃；
    2. 相对湿度：≤75%；
    3. 1 Hz～20 Hz环境地噪声小于2.00×10-7 m/s；
       1. 自噪声检定宁静硐室环境条件：
    4. 环境地动噪声水平优于I级环境地噪声水平，即1 Hz～20 Hz环境地噪声小于3.16×10-8 m/s；
    5. 日温度波动: 0.5℃；
    6. 年温度波动: 3.0℃；
    7. 相对湿度： ≦95%,无凝结；
    8. 具备同时安装3台以上地震计进行同步观测的仪器平台和供电及网络接入条件。

#### 检定用标准器具

* + - 1. 绝对振动检定标准装置

含垂直向和水平向振动台系统，分别包括低频振动发生装置、激光测振仪、传感器数据采集测量系统等，以下简称振动台。技术指标应满足：

* + 1. 检定频率范围：(0.005~120)Hz，最小频带范围0.1 Hz～120 Hz；
    2. 检定速度范围：(0.3~20)mm/s；
    3. 最大行程：≧±50mm；
    4. 最大负载：≧15kg；
    5. 速度测量不确定度：≦0.1%(k=2)；
       1. 信号发生器

技术指标应满足：

* + 1. 可输出信号类型：正弦波、方波；
    2. 输出频率范围：0.5mHz~200Hz；
    3. 输出幅度范围：20mVpp~ 20Vpp；
    4. 总谐波失真度：≦-80 dB；
    5. 方波上升时间：≤10 ns；
    6. 信号频率不确定度：≦1.0×10-7；
    7. 幅度不确定度：≦0.2%(k=2)；
       1. 地震数据采集器

技术指标应满足：

* + 1. 输入信号满幅值：±2.5、±20V可选；
    2. 采样率：100、500 sps可选；
    3. A/D字长：≧24 bits；
    4. 短路噪声：满幅值2.5V时：≦0.25uV ，满幅值20V时：≦2uV；
    5. 标定信号发生器：可产生阶跃信号和正弦信号，要求与7.1.2的信号发生器一致。
       1. 参考地震计

低自噪声甚宽带地震计。技术指标应满足：

频率范围：1/120 Hz～40 Hz

灵敏度误差: 1%

短周期自噪声：≤1×10-9 m/s（1 Hz～40 Hz）

长周期自噪声：≤1×10-18 m2s-4Hz-1（@0.01 Hz)

### 7.2 检定项目

首次检定、后续检定和使用中检查的项目见表3。

表3 检定项目一览表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项 目 | 首次检定 | 后续检定 | 使用中检查 |
| 1 | 随机资料及外观检查 | + | + | - |
| 2 | 温度变化适应性 | + | - | - |
| 3 | 灵敏度 | + | + | - |
| 4 | 最大横向幅值灵敏度比 | + | + | - |
| 5 | 最大观测速度 | + | - | - |
| 6 | 灵敏度幅值响应 | + | + | + |
| 7 | 幅值线性度 | + | - | - |
| 8 | 固有周期 | + | + | + |
| 9 | 阻尼系数 | + | + | + |
| 10 | 短周期噪声 | + | - | - |
| 11 | 长周期噪声 | + | - | - |
| 注：  表中“+”为应检项目；“-”为可不检项目。 | | | | |

### 7.3 检定方法

#### 7.3.1 随机资料及外观检查

依据6.1进行检查，符合要求后，再进行以下各项的检定。

#### 7.3.2 温度变化适应性检查

按附录C的方法进行检查，检查结果应满足6.2要求。

#### 7.3.3 低频振动台绝对测量检定方法

使用绝对振动检定装置(即振动台)开展的检定，用于灵敏度、最大横向灵敏度比、最大观测速度、幅值响应、线性度等检定。

7.3.3.1 实验前准备

启动振动台，确认进入稳定工作状态。

安装地震计。将地震计安放在振动台的台面中心位置，根据地震计方向指示以及振动台运动轴向标志线，保持地震计灵敏轴方向与振动台振动方向精确一致。调节地震计底脚螺丝使地震计水平泡准确居中，用固定装置固定好地震计。

连接地震计和振动台测试数据采集装置。若采集装置为差分输入，将地震计三个分量输出的正、负、地连接到的振动台测试数据采集装置的正、负、地；若为单端输入，把地震计输出的正、地连接到振动台测试数据采集装置的正、地。

解除地震计摆锤锁止，给地震计通电，按照地震计使用说明检查、确认地震计进入稳定工作状态。

7.3.3.2 地震计灵敏度、最大横向灵敏度比检定

a) 在参考频率点测量，振幅：5mm/s。

b）控制振动台振幅在5±0.05mm/s以内。分别测量地震计的水平分量和垂直分量，得到地震计X、Y、Z各自的灵敏度值*Sx,x*、*Sy,y*、*Sz,z*，横向灵敏度值*Sx,y*、*Sx,z*、*Sy,x*、*Sy,z*、*Sz,x*、*Sz,y*。

注：*Si,j，i*=[*x,y,z*]表示振动作用的地震计分量，*j*=[*x,y,z*]表示地震计输出分量。

*Sx,x*、*Sy,y*、*Sz,z*的测量结果均应满足5.1的要求。

c) 按(1)式计算各分量的横向灵敏度比值*ri,j*。

（1）



所有6个横向灵敏度比值中的最大值为地震计最大横向灵敏度比，计算结果应满足5.2的要求。

7.3.3.3最大观测速度检定

a) 振动台的振动频率及振幅见表4.

表4 最大观测速度检定时的参考振动参数表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 检定信号频点 /Hz | 10 | 30 |
| 检定信号速度振幅 /(mm/s) | ≧9.05 | ≧5.05 |

b) X、Y、Z分量分别测量，按表3依次设定振动台的振动频率及振幅，控制实测振幅与设定振幅偏差在±1%以内，得到地震计正向输出信号的失真度。

c) 若检定频点地震计正向输出的波形失真度不大于3%，对应的设定振幅则为地震计该分量在该频点的最大观测速度。

所有分量的检定结果均应满足5.3的要求。

注：

1.对于通带高端截止频率为10Hz的超宽带地震计，可只进行7Hz、9.0mm/s检定。

2.检定开始前应当等待足够长的时间，保证地震计输出稳定在零点附近，避免波形漂移引起限幅，从而影响检定波形失真度。

7.3.3.4幅值响应检定

地震计幅值响应为在不同频点的幅值响应灵敏度与参考点幅值响应灵敏度的百分比。理想值为100%，与频率无关。测量出幅值响应，计算出其与100%的差，依据该差值是否在限定值范围内判定测量结果是否满足要求。

1. 振动台的振动频率及振幅设定参见表5。

表 5 幅值响应检定的频点、振幅参数表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *f /*Hz | 单峰振幅 | *f /*Hz | 单峰振幅 | *f* /Hz | 单峰振幅 | *f /*Hz | 单峰振幅 |
| /(mm/s) | /(mm/s) | /(mm/s) | /(mm/s) |
| 0.005 | 5 | 0.2 | 5 | 10 | 5 | 50 | 2 |
| 0.01 | 5 | 0.5 | 5 | 20 | 4 | 63 | 1 |
| 0.02 | 5 | 1 | 5 | 25 | 3 | 80 | 1 |
| 0.05 | 5 | 2 | 5 | 30 | 3 | 90 | 1 |
| 0.1 | 5 | 5 | 5 | 40 | 2 | 100 | 1 |
| 注：  1. 0.1Hz以上的频点须进行振动台检定，对通带高端截止频率为10Hz的超宽带地震计，可以不进行20Hz以上频率点的检定。低于0.1Hz的频点可根据实验室条件和要求决定是否检定。  2. 振幅推荐采用，可在保证波形失真度的条件下选择另外的值。 | | | | | | | |

b) 实验。分别测量地震计三个分量的输出灵敏度，按照表5的参数、逐频点操控振动台测试地震计，获得各频点的幅值灵敏度响应值。

c) 按(2)式计算各频点的幅值灵敏度响应波动百分比*Ef*。

 (2)

式中：

*Sf* —— 频率*f*的幅度灵敏度响应值；

*f*0 —— 为参考频率。

计算得到的所有分量的幅值灵敏度响应波动均应满足5.4的要求。

7.3.3.5 幅值线性度检定

理想线性度的线性度为1，测量计算出幅值线性偏差，以幅值线性偏差是否在限定值范围内判定结果是否满足要求。

a) 振动参数。在参考频率点测试，振幅：0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、6.0、7.0、8.0、9.0mm/s。

b) 分别测试地震计三个分量，依次按照a)中振幅设定值控制振动台，使实测振幅与设定值偏差在±1%以内，得到振动台实测振幅值*xi*，和地震计正向通道输出电压*yi*，*i*=1,2,...,*N*，*N*=10。

c) 按公式(3)、(4)计算输入速度和输出电压之间关系的线性方程系数*a、b*。

 (3)

 (4)

其中：

 —— *x*,*y*的均值;

d）按公式(5)计算线性度*li*

 (5)

其中：

*FS*——地震计输出的满幅电压值;

的最小值为地震计的线性度，所有分量测得值均应满足5.5的要求。

#### 7.3.4 电信号检定方法

使用电信号法检定主要用于检定地震计的固有周期和阻尼系数。

7.3.4.1 实验前准备

a）如图1所示，电信号检定测量需要用到地震数据采集器、信号源(可选)，三个地震计分量同时测量。地震数据采集器用于采集记录电信号测试时地震计的响应输出信号，可选择使用其产生的电信号作为测试信号，或使用信号发生器提供测试信号。

b）安装连接地震计。在安静的实验室环境，选择平整、稳定的地面或仪器平台安装地震计。按图1，用缆线连接地震计、地震数据采集器和信号源，地震数据采集器使用GPS/北斗授时。按地震计操作规程调整地震计水平、解锁、上电，静置30min以上，确认相关仪器进入稳定工作状态。

c）地震数据采集器设置参数。信号输入满量程：±20V，采样率：500sps，最小相位。使用地震数据采集器电脑客户端程序监控电信号测试过程。

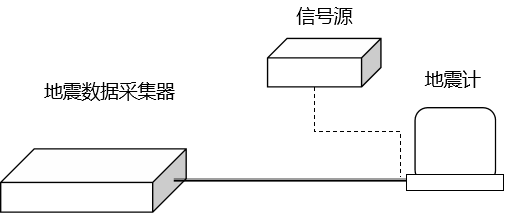


图1 地震计与地震数据采集器连接示意图。

7.3.4.2 地震计固有周期与阻尼系数检定

该项测量通过向地震计校准线圈输出阶跃电信号，使用地震计阶跃电信号响应波形计算地震计的固有周期和阻尼系数。

a) 阶跃信号参数。如图2所示，阶跃宽度*ΔT*参考表6，阶跃信号的占空比为50%，即信号起始为零电位，向上一个阶跃幅度持续阶跃宽度，再向下一个阶跃回到零电位持续阶跃宽度，共包括一个上升阶跃、一个下降阶跃。

表6 阶跃信号宽度参考值表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 地震计类型 | 阶跃宽度ΔT /s | 地震计类型 | 阶跃宽度ΔT /s |
| 短周期地震计 | 30 | 甚宽频带地震计 | 600 |
| 宽频带地震计 | 300 | 超宽频带地震计 | 1800 |

各类地震计需要的阶跃幅度差距很大，可以根据已知信息估算出阶跃信号幅度值，或由厂家提供参考值，或用已知值。还可以先施加一个小幅的阶跃电信号，根据输出波形的幅度等比列估算出需要的阶跃幅度。设置阶跃幅度应当保证地震计响应输出在满幅值的50-60%之间。

b）实验。在确定阶跃信号参数后，向地震计输出阶跃电信号，地震数据采集器采集记录地震计阶跃响应波形。实验过程尽量减少环境干扰，可以使用地震数据采集器定时电信号发生功能在凌晨安静时段自动实验。

图2为阶跃电信号与地震计阶跃响应波形示意图，上面的曲线为输入阶跃电信号波形、下图为地震计阶跃响应波形。

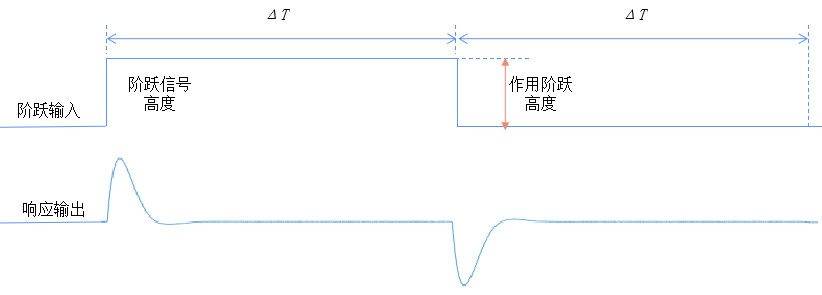


图2 阶跃电信号波形（上）及地震计响应波形（下）

c）数据处理。实验结束后，下载完整的记录波形，使用基于附录A“阶跃响应振幅谱拟合计算固有周期和阻尼系数的算法”，或基于DB/T 22-2020附录D提供算法的软件或程序，分别用上升阶跃和下降阶跃的数据，计算地震计的固有周期和阻尼系数，2个结果差在0.1%以内，采用结果均值，否则采用下降阶跃的结果。

地震计所有分量的固有周期和阻尼系数均应5.6、5.7的要求。

#### 7.3.5 宁静硐室自噪声检定方法

自噪声检定需要测量地震计的短周期自噪声、长周期自噪声，需在宁静硐室进行。

7.3.5.1实验前准备

1. 安装地震计。在宁静硐室的仪器台面上安装所有地震计安装在2 m×2 m的范围内。如果有2台以上待测地震计，可不用参考地震计，计算时可指定任一台待测地震计作为参考地震计。所有待测地震计的正北指向准确一致，调整地震计的水平，使水平泡居中，每台地震计单独使用防护罩防护，使地震计免于气流、气压、电磁场变化的影响。
2. 地震计与地震数据采集器通过专用线缆连接，地震数据采集器信号输入满量程设置为最大允许值（参考值：±20V），采样率设置为500sps、最小相位响应。每一台地震数据采集器可以连接2台地震计，连接GPS天线、接入LAN。给地震数据采集器及地震计加电，确认地震计平衡调整结束，工作正常。

c）使用地震数据采集器提供定时标定功能，按本规程的电信号测量自振周期、阻尼系数的阶跃参数的方法测量自振周期、阻尼系数，结果须在在限差范围内。如有异常，排除问题，重复测量自振周期和阻尼系数，若不能排除问题，终止实验，判定检定不合格。若正常，地震数据采集器信号输入满量程设置为最小允许值（参考值：2.50V），采样率设置为100sps。24小时后通过网络远程控制再次平衡地震计摆锤位置。

7.3.5.2实验观测与数据选择

保持观测环境安静，不得移动、转动地震计，尽量避免人为干扰，短周期地震计连续观测记录3天以上，宽频带、甚宽频带和超宽频带地震计连续观测记录14天以上。

短周期地震计，取相对安静、无人为干扰连续24小时的观测数据。宽带、甚宽带、超宽带地震计，选择实验观测期间相对安静、无人为干扰、连续72小时以上的观测数据，作为自噪声计算的原始数据。

7.3.5.3 地震计自噪声计算

使用基于附录B的“地震计低自噪声计算算法”的程序或软件计算1/600Hz~40Hz的低自噪声加速度功率谱密度值*PSDa*0，以及100s的自噪声加速度功率谱密度值作为地震计长周期自噪声值。长周期自噪声值应符合5.9的要求。

注：计算得到的低自噪声曲线总体上应当具有中间低，然后向低频、高频段略为升高的形态，围绕模型曲线上下波动不超过6dB。如果低噪声曲线异常，检查计算过程无误的条件下，可以判定仪器状态异常，自噪声测量失败。

7.3.5.4 地震计短周期噪声计算

首先，按(6)式计算地震计低自噪声速度功率谱密度*PSDv*0：

 (6)

再按(7)式计算短周期自噪声的速度有效值：

 (7)

式中：

*k*1，*k*40—— 分别为1Hz、40Hz频点对应的下标。对于超宽带地震计，计算时用10Hz对应的频点下标*k*10替换*k*40。

所有分量计算结果应符合5.8的要求。

### 7.4 检定结果的处理

所有项目经检定符合本规程要求的地震计出具检定合格证书，检定合格证书内页格式见附录D，合格仪器加贴合格标签；经检定不符合本规程要求的地震计出具检定结果通知书，检定结果通知书内页格式见附录D，注明不合格项。

### 7.5 检定周期与使用中检查

地表地震计通常用于固定台站的地震观测，需要成年累月每天连续24小时观测，任何原因的中断都会影响地震观测的数据质量和效果。且国外有实验表明只要地震计工作正常，15年以上其观测性能都不会有明显改变，可以满足地震观测的需要，国内的实际观测应用也证实了这一点。综合考虑，地表地震计检定周期定为10年，并可根据需要中间抽捡。

为保证地震计工作正常，地震计使用方的管理人员或技术人员可进行使用中检查。在地震计完成架设投入使用时，应按本规程中7.3.4附录B的方法测量固有周期、阻尼系数及幅值响应波动，只要固有周期、阻尼的符合5.6、5.7，且幅值响应波动符合5.4的要求，且参考频率点相同幅度正弦波信号激励下输出的幅值变化小于10%，可认为地震计工作正常。如发现问题，重复1次检查，若问题依然存在，应当现场排查，确认地震计工作异常后，应及时替换，替换后要重新进行初次检查。

### 附录 A

阶跃响应振幅谱拟合计算固有周期和阻尼系数算法

A.1 数据选取与阶跃检定振幅谱计算。

已知地震计标称固有周期为*T*0*s*，取阶跃前*T*0*s*/2、阶跃后5/2~9/2时间长度的记录波形数据*w*(*i*)，把*w*(*i*)乘以采集转换因子得到记录电压*x*(*i*)，计算*x*(*i*)的傅里叶变换*F*(*i*)，再计算*F*(*i*)的幅值，得到振幅谱值*X*(*i*)。其中:*i*=1,2,3,...，*N*，*N*为所取波形数据段的样点总数的0.4倍下限整数。

A.2 二阶传递函数系数初值。

取固有周期*T*0初值为*T*0*s*、阻尼系数*D0*初值0.707，按(A.1)计算初始的固有角频率***ω***0、二阶传递函数系数*a*,*b*,*c*值：

 (A.1)

A.3 按(A.2)计算频谱拟合方程组系数矩阵*A*、*B。*

 (A.2)

式中：

*r ——* 为地震计阶跃检定记录波形数据的采样率；

***Ω*** *——* 为角频率。

A.4 按(A.3)计算*a*,*b*,*c*的修正值Δ*a*,Δ*b*,Δ*c*。

 (A.3)

式中：

*AT*——矩阵*A*的转置

*C*-1 ——矩阵*C*的逆

A.5 按(A.4)修正*a*,*b*,*c*。

 (A.4)

A.6 判断与输出

若Δ*a*,Δ*b*,Δ*c*的绝对值的最大值≧1.0×10-12，重复A.3)、A.4)、A.5)，否则，按(A.5)式计算地震计的固有周期和阻尼系数。

 (A.5)

### 附录 B

正弦电信号法检查地震计工作状态的方法

B.1正弦波幅值响应测量

该项测量主要用地震计使用中检查，在进行了振动台幅值响应测量的情况下，不做本项测量。

B.1.1 序列正弦波参数。序列正弦波完整的频点为：1/720、1/360、1/240、1/120、1/60、1/30、1/20、1/10、1/5、1/2、1、2，4、6、10、16、20、25、30、40、50、63、80、90、100Hz，具体地震计的序列正弦波测量频点根据地震计类型从中选取，超宽带地震计：1/720Hz~40(100)Hz、甚宽带地震计：1/240Hz~100Hz，宽频带地震计：1/120Hz~100Hz、短周期地震计从1/20Hz~100Hz。

按各频点最少重复周期5个、最少持续时间30s的原则确定各频点持续时间。

信号幅度参数确定。使用标定常数、频率估算电信号输入产生的等效激励速度，按最大等效激励速度约5mm/s、电流不大于10mA或电压不大于10V的原则确定。

B.1.2 实验。按a)计算得到的正弦波信号标定参数设置信号源，逐频点输出到地震计，由地震数据采集记录地震计标定信号响应波形。过程中尽量减少环境干扰，当采用地震采集器提供电信号时，可以远程或使用定时启动信号发生功能在凌晨安静时段自动进行实验。

B.1.3 数据处理。实验结束后，下载完整的信号响应波形数据。按下列步骤计算幅值响应波动。

B.2 各通道取同一时间段、整数倍测试正弦信号周期长度(建议f≦1/5Hz的低频点，不少于3个周期，在1/2Hz≤f≤10Hz频段内的频点，不少于10个整数周期，f>10Hz以上频点取1秒以上整数秒长度）的记录数据，乘以转换因子得到输出电压波形。

B.3 按(B.1)式计算各频点的测量正弦波记录的幅度及相位，也可采用DB/T 22-2020中的基于FFT或波形拟合的算法计算测试正弦波记录的幅度A和相位φ。

 (B.1)

式中：

X(i) —— 正弦响应波形记录时间序列数据，V；

f —— 测量正弦信号频率，Hz；

r —— 记录数据的采样率，sps。

B.4 按(B.2)、(B.3)依次计算各频点正弦波的等效激励速度、幅值灵敏度响应：

 （B.2）

 （B.3）

式中：

*vf* —— 频点*f*的等效激励速度，mm/s；

*Ef* —— 频点*f*的输入电信号幅度，V或A；

*Sc* —— 标定常数，m/s2/V或m/s2/A；

*Af* —— 频点*f*的实验记录正弦波幅值*，*V；

*Sf* —— 频点*f*的幅值灵敏度响应，Vs/m；

### 

### 附录C

地震计低自噪声算法

C.1 地震计相对传感参数计算

C.1.1 数据选取。在连续记录时间段内，选择所有地震计记录完整、在凌晨00:00~04:00点之间、环境安静、无地震事件的1小时连续记录数据。

C.1.2 数据预处理。根据宁静检定硐室所在区域地脉动特性选择预处理滤波中心频率*fc*，对于超宽频带、甚宽频带和宽频带地震计，使用Ⅱ类海洋脉动的优势成分，一般内陆地区取*fc*=0.2Hz，沿海地区*fc*=0.4Hz，对于短周期地震计，可根据场地脉动强度，选择*fc*=1、2、3、5Hz之一。可以通过估算的记录数据的信噪比，调整中心频率。所有地震计记录数据按转换因子把待测地震计记录转换为输出电压记录波形，进行通带为[0.707*fc*,1.414*fc*]的零相移带通滤波，数据记录首尾分别剔除100s受滤波响应影响的数据。

C.1.3 计算场地脉动速度矢量波形。使用参考地震计的传感参数(若没有参考地震计传感参数，X、Y、Z三分量灵敏度都取标称值，方向角：[0,0,π/2]，倾角：[π/2,0,0])，和C.1.2得到的经预处理的参考地震计记录数据，按(C.1)式计算检定场地地面运动速度矢量波形。

 （C.1)

式中：

*v*x*、v*y*、v*z—— 宁静硐室检定场地运动速度的X、Y、Z分量；

*s*0,x、*s*0,y、*s*0,z—— 参考地震计的X、Y、Z分量灵敏度；

*α*0,x、*α*0,y、*α*0,z—— 参考地震计的X、Y、Z分量敏感方向角；

*β*0,x、*β*0,y、*β*0,z—— 参考地震计的X、Y、Z分量敏感倾角；

*u*0,x*、u*0,y*、u*0,z—— 参考地震计X、Y、Z分量记录的电压值。

C.1.4 计算待测地震计传感参数。把经过预处理的每1小时3400s长度的数据按长度300s、重叠200s分成共32个数据子段，对每一数据子段，按(C.2)式的目标函数、采用最优化方法逐分量计算待测地震计传感参数。即每台地震计3分量的灵敏度、敏感方向角、敏感倾角共9个参数，得到32组传感参数，剔除灵敏度偏离最大的8组数据，其余的24组传感参数数据，取均值作为待测地震计的传感参数，并计算标准差，当灵敏度标准差大于0.1%、除垂直向以外的方向角、所有倾角标准差大于0.001rad时，重新选择数据再计算。

 　　　　　　　　　　　　　 　 (C.2)

式中

*f*(*s*’,*α*’,*β*’) —— 按传感参数[*s*’,*α*’,*β*’]计算得到目标函数值；

*N* ——为时间序列数据点的总数；

*s*’ —— 某组传感参数的灵敏度值，V·s/m；

*α*’ —— 某组传感参数的方向角，rad；

*β*’ —— 某组传感参数的倾角，rad；

*u* —— 待测地震计的记录输出电压样点值，V；

*u*’—— 按传感参数[*s*’,*α*’,*β*’]计算的电压样点值，V。

给定一组传感参数计算，按式(C.3)计算得到传感器某分量输出*u'*:

 (C.3)

C.2 地震计低自噪声计算。

C.2.1数据选取。在14天(短周期3天)以上的连续记录时间段的中后期，选择所有地震计记录完整、相对安静、连续*M*(*M*≧144，短周期地震计*M*≧24)小时以上的记录数据，一小时为单位分别形成记录文件。

C.2.2记录波形轴向校正。对选取的*M*条数据记录，按转换因子转换为电压值，分小时使用参考地震计的传感参数和C.1.4计算得到待测地震计的相对传感参数，按(C.4)对所有地震计记录数进行轴向校正：

 (C.4)

式中：

*ui，x,1*、*ui,y,1*、*ui,z,1*—— 第i台地震计经轴向校正后的记录输出电压，V；

s —— 地震计标称灵敏度，V·s/m；

*si,x*、*si,y*、*si,z* —— 第i台地震计的X、Y、Z分量灵敏度，V·s/m；

*αi,x*、*αi,y*、*αi,z* —— 第i台地震计的X、Y、Z分量方向角，rad；

*βi,x*、*βi,y*、*βi,z* —— 第i台地震计的X、Y、Z分量倾角，rad；

*ui,x、ui,y、ui,z*—— 第i台地震计X、Y、Z分量记录的电压值，V。

C.2.3 地震计自噪声计算。用经过轴向校正后的所有记录波形数据，采用二台法(Holcomb算法)，或三台法(Sleemann算法)计算小时尺度、*M*条记录的自噪声加速度功率谱密度。建议在计算时数据窗长取600s、FFT窗长取600s、重叠窗长取400s，计算得到频率范围为1/600Hz~40Hz的地震自噪声加速度功率谱密度值。然后按每频率量级100点的等比频率间隔采样，得到*N*个频点地震计自噪声加速度功率谱密度值(各点频率按(C.5)式计算)，换算成加速度功率密度的分贝值，单位：dB(m2s-4Hz-1)。

 (C.5)

式中：

*f*0 —— 计算得到的地震计自噪声加速度功率谱的第一个非0频率，1/600Hz；

*i* —— *i*=1,2,...*N*，采样频点序号；

*N* —— 采样频点总数，100×log10(40/*f0*)的上限整数值；

C.2.4地震计低自噪声数据提取。用C.2.3得到的*M*条自噪声数据计算各频点的自噪声1dB分辨率的概率分布，绘出概率分布图，取下限为各地震计的低自噪声加速度功率谱密度值*PSDa0*。

C.2.5 地震计低自噪声数据参数建模。寻求一条四次多项式曲线拟合低自噪声数据，作为地震计低自噪声的参数模型。多项式的形式如(C.6):

 (C.6)

式中：

*X* —— 频率的常用对数值；

*a4、a3、a2、a1、a0* —— 为多项式的系数。

地震计各频点的实测低自噪声分贝值为*PSDa0*，构造目标函数为实际值和拟合值之差的均方根(C.7)：

 C.7)

采用最优化方法，求得使*g*(*a4,a3,a2，a1,a0*)为最小的多项式系数。

C.2.6 在同一图面中绘出低自噪声曲线和模型拟合曲线。

C.2.7 地震计自噪声参考数据计算。使用拟合得到的系数，按(C.6)式计算出0.01 Hz对应的长周期自噪声值（在100s的自噪声功率谱密度值）。

### 附录 D

地震计温度变化适应性检查方法

将被检地震计置于步入式恒温试验箱内，地震数据采集器置于试验箱外，用专用电缆连接地震计和数据采集器，接通电源使设备正常工作，记录三分量振动数据。地震数据采集器设置最大输入满量程（推荐：±20V)、采样率：100sps，相位响应：最小相位。地震数据采集器设置参考率正弦波自测信号，估算并调整是地震计在该自测信号激励下的输出幅度达到10~12V。

D.1 常温（室温）状态下完成仪器的安装调试，保证仪器处于正常工作状态；地震计静置1小时，调整地震计摆锤位置，记录摆锤零位输出，与升温前偏移不超过零位输出满幅值的50%，控制启动正弦信号自测，确认记录波形正常，不正常应当终止检查；

D.2 实验箱内常温（室温）升温至对应温度（甚宽频带地震计为15 ℃，超宽频带地震计为5 ℃）并运行时间4 h，不允许调零，记录摆锤零位输出，其摆锤零位偏移量应不超出允许范围。控制启动正弦信号自测，确认记录波形正常，不正常应当终止检查；

D.3 实验箱内降温至常温（室温），稳定时间4 h，调整地震计摆锤位置，保证仪器处于正常工作状态。控制启动正弦信号自测，确认记录波形正常，不正常应当终止检查；

D.4 实验箱内常温（室温）降温至对应温度（甚宽频带地震计为15 ℃，超宽频带地震计为5 ℃）并运行时间4 h，不允许调零，记录摆锤零位输出，与降温前相比偏移不超过零位输出满幅值的50%，控制启动正弦信号自测，确认记录波形正常，不正常应当终止检查；

（5）实验箱内降温至-20 ℃，保持1h以上，调整地震计摆锤位置，控制启动正弦信号自测，确认记录波形正常，不正常应当终止检查；

（6）实验箱内常温（室温）升温至50℃，保持1h以上，与降温前相比偏移不超过零位输出满幅值的50%，控制启动正弦信号自测，确认记录波形正常，不正常应当终止检查。

注：以常温自测正弦波信号幅度为基准，升温后、降温后的自测正弦波信号幅度变化不超过20%，认为地震计工作正常，否则，认为地震计工作不正常。

### 附录E

地表地震计检定证书内页格式

送检单位 检定地点

制造厂 型号规格 出厂编号

检定项目

1. 外观、功能及技术资料内容检查
2. 灵敏度

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 参考频率 /Hz | 速度/ (m/s) | 灵敏度/(V/(m/s)) | 灵敏度偏差/% | 判定 |
| Z |  |  |  |  |  |
| X |  |  |  |
| Y |  |  |  |

1. 最大横向灵敏度比

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 参考频率/Hz | 最大正交方向  灵敏度 /(V/(m/s)) | 最大正交方向  横向灵敏度 /(V/(m/s)) | 最大  横向灵敏度比 /% | 判定 |
|  |  |  |  |  |  |

1. 最大观测速度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 测试频率 /Hz | 实际振动速度 / (m/s) | 波形失真度 /% | 判定 |
| Z | 10 |  |  |  |
| 30 |  |  |
| X | 10 |  |  |
| 30 |  |  |
| Y | 10 |  |  |
| 30 |  |  |

1. 灵敏度响应

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 频带范围 | 幅值灵敏度响应波动 /% | 判定 | 测试方法 |
| Z | 10 Hz<f≤30 Hz |  |  |  |
| 30 Hz＜f≤40 Hz |  |
| X | 10 Hz<f≤30 Hz |  |
| 30 Hz＜f≤40 Hz |  |
| Y | 10 Hz<f≤30 Hz |  |
| 30 Hz＜f≤40 Hz |  |

注：超宽带地震计频带可根据检定频带修改。

1. 幅值线性度 %

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 参考频率 /Hz | 灵敏度 /(V/(m/s)) | 线性度 /% | 判定 |
| Z |  |  |  |  |
| X |  |  |
| Y |  |  |

1. 固有周期

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 固有周期 /s | 偏差 /% | 判定 |
| Z |  |  |  |
| X |  |  |
| Y |  |  |

1. 阻尼系数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 阻尼系数 | 偏差 /% | 判定 |
| Z |  |  |  |
| X |  |  |
| Y |  |  |

1. 短周期自噪声

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 短周期自噪声(m/s) | 要求 | 判定 |
| Z |  |  |  |
| X |  |  |
| Y |  |  |

1. 长周期自噪声

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 长周期自噪声/（(m/s2)2/Hz） | 要求 | 判定 |
| Z |  |  |  |
| X |  |  |
| Y |  |  |

1. 动态范围

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分量 | 动态范围 /dB | 要求 | 判定 |
| Z |  |  |  |
| X |  |  |
| Y |  |  |

附：噪声功率谱密度分布图。

检定环境条件：温度： 相对湿度： 其他：

注：表中的内容可根据实际检定项目删减。

### 附录F

地表地震计检定结果通知书内页格式

送检单位 检定地点

制造厂 型号规格 出厂编号

经检定，该地表地震计具有以下不合格项：

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 检定项目 | 规程指标 | 实测指标 | 备注 |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

检定环境条件：温度： 相对湿度： 其他：