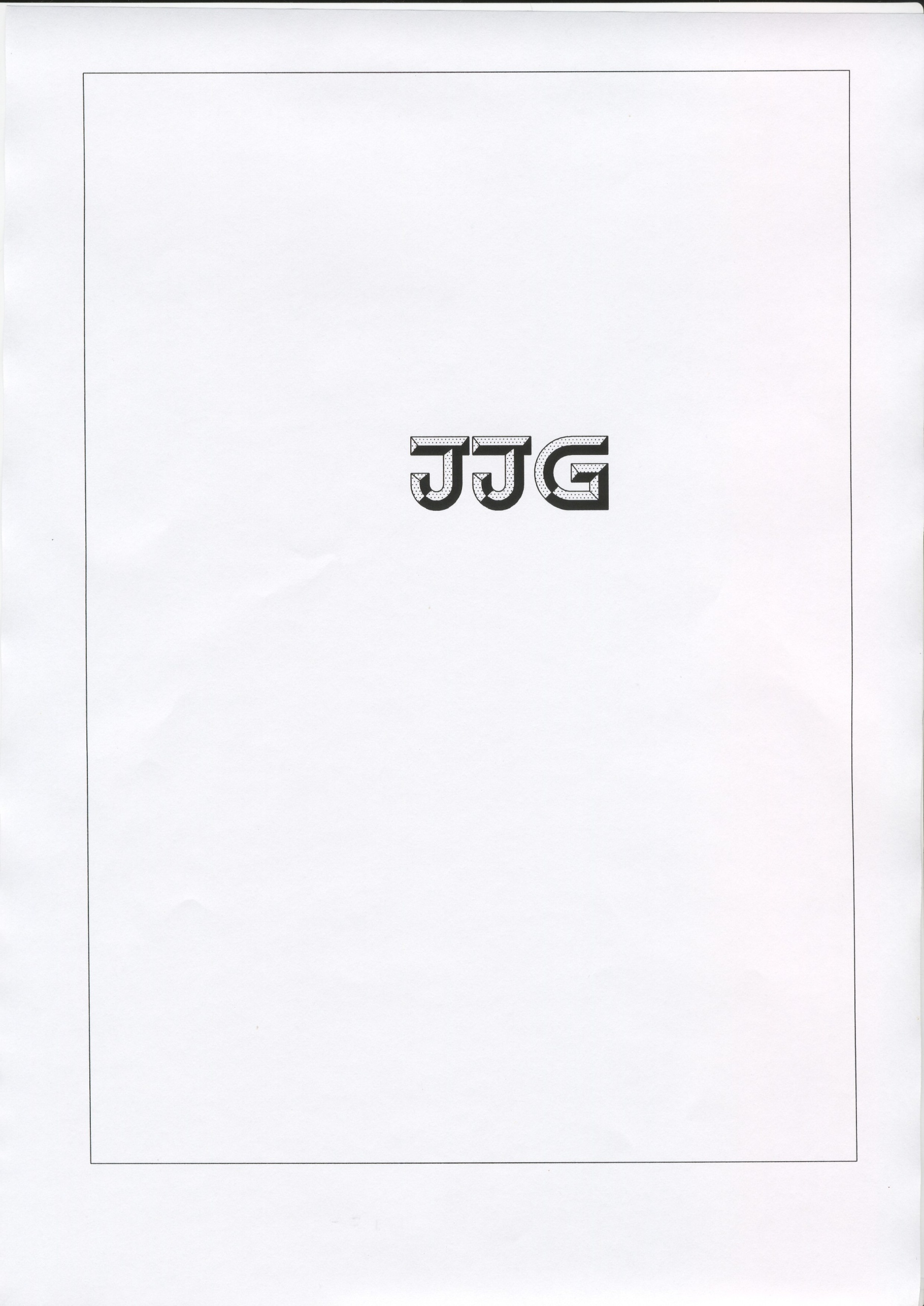
****

中国地震局部门计量检定规程

JJG(地震) XXX—XXXX

强震动加速度计

Strong Motion Accelerometer

（征求意见稿）

20XX-XX-XX发布 20XX-XX-XX实施

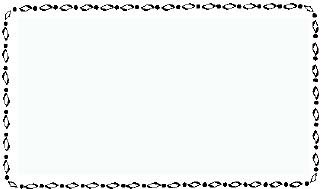
中国地震局 发布

JJG(地震) XXX—XXXX

强震动加速度计检定规程

Verification Regulation of

Strong motion accelerometer



JJG（地震）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：**

薛 兵（中国地震局地震预测研究所）

李文一（中国地震局第一监测中心）

李云洋（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）

**本规程参加起草人：**

赵立军（中国地震局第一监测中心）

苏建文（中国地震局第一监测中心）

目 录

[引 言 II](#_Toc6676)

[1 范围 1](#_Toc10247)

[2 引用文件 1](#_Toc30148)

[3 术语 1](#_Toc18813)

[4 概述 1](#_Toc27761)

[5 计量性能要求 1](#_Toc27243)

[6 通用技术要求 2](#_Toc14448)

[7 计量器具控制 2](#_Toc16694)

[附录A 9](#_Toc11856)

[附录B 10](#_Toc28915)

[附录C 13](#_Toc27304)

[附录D 14](#_Toc23138)

引 言

JJF 1002《国家计量检定规程编写规则》、JJF 1001《通用计量术语及定义》共同构成支撑本规程编制的基础性系列规范。本规程主要参考 DB/T 10—2016《数字强震动加速度仪》等技术规范编制。

本规程为首次发布。

强震动加速度计检定规程

1. 范围

本规程适用于强震动加速度计的首次检定、后续检定和使用中检查。

1. 引用文件

本规程引用下列文件：

JJF 1156—2006 振动冲击转速计量术语及定义

GB/T 19531.1—2004 地震台站观测环境技术要求 第1部分：测震

DB/T 10—2016 数字强震动加速度仪

DB/T 22—2020 地震观测仪器进网技术要求 地震仪

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。

1. 术语
   1. 强震动加速度计 Strong vibration accelerometer

将地面运动加速度量转换为电压量的设备。

* 1. 数据采集器 data acquisition device

将模拟电压信号转换成数字量并记录的装置。

1. 概述

强震动加速度计（以下简称加速度计）通常用于地面振动加速度测量，是一种将加速度量转换为电压量输出的设备。

加速度计一般采用弹簧+质量块结构传感地面振动，多采用电容位移环能把地面振动信号转换成电信号。当加速度计被固定在振动物体上时，固定质量块受惯性力作用与换能结构产生相对运动，使电容板间距发生变化，进而改变电容值，通过双端平衡差分式输出得到电容变化的大小，测量出传感方向加速度的大小。常用的加速度计通常包括UD、EW、NS三个分向，采用双端平衡差分输出，在使用时分别传感相互垂直的三个方向地面振动。

1. 计量性能要求
   1. 参考灵敏度误差：应不大于3%（以标称值为基准的相对偏差的绝对值）。
   2. 灵敏度幅频误差：-0.3 dB～0.3 dB（0.1 Hz～50 Hz）；-3 dB～1 dB（50 Hz～80 Hz）。
   3. 幅值线性度：应不大于1%。
   4. 横向灵敏度比：应不大于2%。（定型技术要求无此指标，行标要求1%）
   5. 温度漂移：应不大于 5×10-3 （m/s2）/℃。
   6. 噪声：应不大于 10-5 （m/s2）（0.1 Hz～80 Hz）。
2. 通用技术要求
   1. 外观要求

加速度计上应标出型号、出厂编号和安装方向标识，并应安装有水准泡及水平调整机构。加速度计壳体应无明显的机械损伤。

* 1. 功能要求

加速度计的测量范围应不小于（-19.6～19.6）m/s2，同时具备UD、EW、NS三分向信号输出，信号输出采用双端平衡差分方式。加速度计内部应具有能够对摆锤施加测试力的校准装置。

* 1. 其他技术要求

加速度计生产厂家应给出加速度计标称参数，包括灵敏度、工作频带、测量范围等。

1. 计量器具控制

计量器具控制包括：首次检定、后续检定和使用中检查。

* 1. 检定条件
     1. 检定环境条件
     2. 实验室环境条件：

1）环境温度：(23±3) ℃；

2）相对湿度：≤75%；

3）电源电压的变化不超过额定电压的±10%；

4）检定现场应无强振源、强磁场的干扰及腐蚀性气液体。

* + 1. 噪声检定环境条件：

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。

* + 1. 检定用标准器具
       1. 绝对法振动标准装置

绝对法振动标准装置: 包括激光测振仪、振动发生系统（垂直向和水平向振动台）、测量系统（数据采集和处理设备）和必要的隔振基础，其测量范围应能覆盖被检加速度计的测量范围，其不确定度应满足表1的要求。

表1 绝对法低频振动标准装置的测量范围和不确定度

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 名称 | 测量范围 | 测量不确定度 (k=2) | |
| 频率范围 | *U*rel |
| 绝对法振动标准装置 | 频率:(0.1～200) Hz  加速度:±(0.001～30) m/s-2 | (0.1～120) Hz | 1% |
| (120～200) Hz | 2% |

* + - 1. 步入式恒温试验箱

（1）温度范围：（-40～80） ℃；

（2）温度偏差：≤±2 ℃；

（3）温度均匀度：≤2 ℃；

（4）温度波动度：≤±0.5 ℃；

（5）试验箱内应具备与箱体相隔离的隔振基础，用于安装被检加速度计。

* 1. 检定项目

首次检定、后续检定和使用中检查的项目见表2。

表2 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 | 外观及功能检查 | + | + | + |
| 2 | 参考灵敏度误差 | + | + | + |
| 3 | 灵敏度幅频误差 | +/- | + | + |
| 4 | 幅值线性度 | +/- | - | - |
| 5 | 横向灵敏度比 | +/- | - | - |
| 6 | 温度漂移 | +/- | - | - |
| 7 | 噪声 | +/- | - | - |
| 注：表中“+”为应检项目， “-”为可不检项目；“+/-”为可检可不检项目，根据需要确定，批量设备首次检定时可做抽检。 | | | | |

* 1. 检定方法
     1. 外观及功能检查

依据6.1和6.2进行检查，外观可通过目测加手感的方法进行检查，信号输出方式、校准装置等功能可结合使用说明书查验，符合要求后，再进行以下各条的检定。

使用中检查时，按照台站设备运维有关规定进行观测波形、输出零点偏差、阶跃响应等的检查。

* + 1. 绝对法低频振动检定
       1. 本方法适用于参考灵敏度误差、灵敏度幅频误差、幅值线性度、横向灵敏度比的检定。
       2. 检定前，将被检加速度计刚性安装在振动台台面中心，使加速度计的传感方向与振动台台面运动方向一致，并使加速度计处于正常工作状态。
       3. 检定时，使用绝对法低频振动标准装置，按照表3控制振动台进行正弦激振，使用正弦逼近法计算振动台各频率点的振动加速度值，并测量被检加速度计输出电压值。对被检加速度计的UD、EW、NS三个传感方向应分别进行检定。

注：

1.对于内置数据采集器的加速度地震计，可使用内置数据采集器测量加速度计输出电压值，数据采集器采样率应至少设置100 Hz，并大于检定振动频率的2倍。

2.本规程所列的正弦振动信号幅度，均为单峰值，正弦信号数据处理方法见附录A。

表3 振动台激振参数

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 项 目 | 激振参数 | 说明 |
| 1 | 参考灵敏度误差 | 振动频率：10 Hz（参考频率点）  振动信号幅度：10 m/s2。 |  |
| 2 | 灵敏度幅频误差 | 振动频率（Hz）：0.1、0.5、1、5、10、20、31.5、40、50、63、80、100。  振动信号幅度：10 m/s2（频率≥10 Hz时） | 检定时依据振动台振幅限制可降低振动信号幅度 |
| 3 | 幅值线性度 | 振动频率：10 Hz（参考频率点）  振动信号幅度（m/s2）：0.5、2、4、6、8、10、12、14、16、18、19。 |  |
| 4 | 横向灵敏度比 | 振动频率：10 Hz（参考频率点）  振动信号幅度：10 m/s2 | 需同时记录加速度计3个通道输出信号 |
| 注：  1.振动信号幅度偏差应控制在±0.5 m/s2以内；当振动信号幅度超过振动台工作范围时，或因其他原因无法使用表中参数时，可根据实际情况予以调整。  2.“灵敏度幅频误差”在首次检定时应覆盖本表列出的全部振动频率，在后续检定时可只选择仪器通频带内5～7个频点进行检定。 | | | |

* + - 1. 参考灵敏度误差的检定

按照表3激振参数进行检定，被测加速度计的输出电压值与所承受的振动加速度值之比为该加速度计的参考灵敏度，其计算方法为：

（1）

式中：

——加速度计的灵敏度，V/（m/s2）；

——加速度计的输出电压，V；

——振动台输出加速度，m/s2。

参考灵敏度误差为：

（2）

式中：

——参考灵敏度误差，%；

——加速度计的灵敏度，V/（m/s2）；

 ——加速度计标称灵敏度，V/（m/s2）。

检定结果应符合5.1的要求。

* + - 1. 灵敏度幅频误差的检定

按照表3激振参数进行检定，分别测量各频率点的输出电压值，计算出各点的灵敏度，并计算它们与参考频率点灵敏度之比，以对数形式表示:

（3）

式中：

——第i个频率点的灵敏度与参考频点灵敏度的偏差，dB；

——第i个频点灵敏度，V/（m/s2）；

——参考点灵敏度，V/（m/s2）。

检定结果应符合5.2的要求。

* + - 1. 幅值线性度的检定

按照表3激振参数进行检定，分别测量各加速度点的地震计输出电压值，采用最小二乘法计算幅值线性度。由n次测量的加速度和输出电压，求出回归直线：

（4）

式中:

——加速度计第i个测量点输出电压的拟合值，V；

——截距；

——斜率；

——振动台第i个测量点输出加速度，m/s2。

则幅值线性度可表示为：

（5）

式中：

——加速度计第i个测量点输出电压的实测值，V；

——加速度计第i个测量点输出电压的拟合值，V；

——幅值线性度误差，%。

检定结果应符合5.3的要求。

* + - 1. 横向灵敏度比的检定

按照表3激振参数进行检定，同时记录传感方向与振动台台面运动方向正交的其他两个分向的输出电压，按照7.3.2.5计算灵敏度作为横向灵敏度。横向灵敏度与参考频率点灵敏度之比作为横向灵敏度比：

（6）

式中：

——两个正交方向的灵敏度，V/（m/s2）;

——测试方向灵敏度，V/（m/s2）;

——横向灵敏度比，%。

取其他两个正交方向中较大值作为检定结果，检定结果应符合5.4的要求。

* + - 1. 温度漂移的检定

采用步入式恒温恒湿温试验箱，分别在加速度计工作温度范围内选择低温-5 ℃、-10 ℃两个温度点、常温20 ℃、25 ℃两个温度点、高温45 ℃、50 ℃两个温度点进行测试，每个温度点保持时间应不少于一个半小时，温度变化将引起加速度计的输出电压变化，电压变化量转换为加速度后除以温度变化量即为温度漂移测试结果，选择三个温度区间测试结果的最大值作为温度漂移的最终测试结果。

（7）

式中：

——温度漂移，（m/s2）/℃；

——温度区间内温度的变化引起的电压变化量，V；

——加速度计标称灵敏度，V/（m/s2）。

检定结果应符合5.5的要求。

* + - 1. 噪声的检定

将加速度计固定在环境地动噪声水平符合7.1.1.2规定的台基上，使用数据采集器记录不少于20 min的加速度计输出数据，采样率宜设置不小于200 Hz，根据噪声功率谱计算0.1 Hz～80 Hz频带内的噪声有效值，计算方法：

将输入序列分为M段，每段序列长度为N。为增加分段数量并保持较大的序列长度N值，各个分段间可有50 %～75 %的数据重叠。对分段数据应用窗函数进行加权，然后进行FFT计算，得到频域序列：

（8）

式中：

—— 第i分段数据序列；

—— 窗函数。

计算平均功率谱：

（9）

计算频点的噪声功率谱密度：

（10）

计算频带0.1 Hz～80 Hz内的有效值：

 （11）

检定结果应符合5.6的要求。

当观测数据功率谱中可见台基振动噪声时，可采用相关分析法剔除相关的背景噪声功率谱。

* 1. 检定结果的处理

经检定符合本规程要求的加速度计发给检定证书，检定证书内页格式见附录C；经检定不符合本规程要求的加速度计发给检定结果通知书，检定结果通知书内页格式见附录D，注明不合格项。

注：加速度计三个传感方向计量性能均应满足本规程要求。

* 1. 检定周期

强震动加速度计一般只做安装前首次检定，不做检定周期要求。使用过程中使用单位应参照附录B的方法，按照台站设备运维有关规定进行使用中检查，每台设备的全项目检查周期最长不超过5年。对使用中检查出现异常或经维修的设备，重新安装前应进行再次检定。

附录A

正弦波测试数据处理方法

* 1. 直接计算正弦波振幅值的时域方法

设正弦波测试序列为，采样率为。在信噪比不小于40 dB、测试信号频率不大于的情况下，查找正弦波测试序列为中的最大值和最小值，则正弦波测试信号的峰值为，正弦波的有效值为。

* 1. 正弦函数拟合方法

设正弦波测试序列为，采样率为。在测试信号频率不大于的情况下，使用以下正弦函数模型公式进行最小二乘法拟合。公式（A.2）为正弦函数拟合的误差函数定义。

…………………………… (A.1)

…………………… (A.2)

式中：

——采样周期，单位为秒（s）。

拟合的过程就是寻找参数、、、的最佳取值，使误差函数取极小值。根据拟合结果，正弦波测试信号的峰值为，有效值为，正弦信号的频率为。

* 1. 计算正弦波幅值的频域方法

设正弦波测试序列为，采样率为，测试信号的频率为。若为整数，则可使用以下傅里叶变换式直接计算正弦波峰值。

……………………… (A.3)

正弦波的有效值为。

附录B

强震动加速度计使用中检查方法

对于地震台站连续运行的强震动加速度计，可在台站现场进行参考灵敏度误差和灵敏度幅频误差的检查。

**B.1 参考灵敏度误差的检查，可采用参考加速度计同台对比法、地球重力法、振动台比较法或地震事件响应计算方法。**

（1）当被测加速度计观测到的台基加速度噪声功率谱密度在1 Hz～20 Hz范围内存在明显大于-90 dB的区域时，可选择参考加速度计同台对比法。

（2）当被测加速度计同台安装有地震计时，并在检查周期内有地震事件发生时，可选择地震事件响应计算方法。

（3）当上述方法不可行时，可选择地球重力法和振动台比较法。

**B.2 灵敏度幅频误差的检查，可采用振动台比较法或标定线圈激励法。**

**B.3 参考灵敏度误差的检查（同台对比法）**

（1）测试设备：（参考）加速度计，参考灵敏度误差优于±3%。

（2）测试方法：

在被测加速度计正常观测过程中，将参考加速度计与被测加速度计紧邻安装，保持安装方位一致，同步记录不少于20 min的连续波形数据。分别以1 Hz、2 Hz、5 Hz、10 Hz、15 Hz和20 Hz频率作为中心频点，在三分之一倍频程范围内使用带外倍频程衰减不小于12dB的带通滤波器对记录数据进行滤波，将滤波后的数据分为10段，计算同一时段被测加速度计与参考加速度计记录数据有效值之比，取其平均值作为两台加速度计的灵敏度之比，使用参考加速度计的灵敏度和计算被测加速度计的参考灵敏度。参考加速度计的灵敏度应通过绝对法低频振动标准装置进行校准。使用同台对比法进行测试时，测试结果应同时给出的标准差，3%。

（3）测试结果判别：使用同台对比法进行参考灵敏度误差检查时，被测加速度计的参考灵敏度误差应优于±10%。

**B.4 参考灵敏度误差的检查（地球重力法）**

（1）测试设备：水平测试平台，台面尺寸≥200 mm×200 mm，可进行台面调平，配备刻度不小于10′/2 mm的水准器。

（2）测试方法：

将水平测试平台安置在加速度计观测现场，并调平测试平台台面。临时中断加速度计观测，将加速度计拆卸后，在仪器通电工作状态下，分别将加速度计机壳的六个外接触面紧密靠近在水平测试平台台面上，静置并记录六个姿态下各不少于10 s的数据，计算各姿态下加速度计各传感方向输出电压的平均值作为输出结果。

对于加速度计垂直(UD)、东西(EW)、北南(NS)三个传感方向，分别计算传感方向与测试平台台面垂直的两个姿态下加速度计该方向输出结果绝对值的平均值，该值与地球重力加速度（取9.8 m/s2）之比即为加速度计该传感方向的（静态）参考灵敏度测试结果，计算参考灵敏度测试结果与参考灵敏度标称值的相对误差即为（静态）参考灵敏度误差测试结果。

（3）测试结果判别：使用地球重力法进行参考灵敏度误差检查时，被测加速度计的静态参考灵敏度误差应优于±6%。

**B.5 参考灵敏度误差的检查（振动台比较法）**

（1）测试设备

a）低频振动台（便携式）：频率范围不小于1 Hz～20 Hz，最大位移≥100 mm，最大峰值加速度≥19.6 m/s2，振动台总质量≤30 kg，最大负载能力≥5 kg，台面尺寸≥200 mm×200 mm。

b）（参考）加速度计：频率范围不小于1 Hz～20 Hz，最大峰值加速度≥19.6 m/s2，参考灵敏度误差≤3%，参考灵敏度年稳定度≤1%。

（2）测试方法：

将参考加速度计和被测加速度计刚性地安装在低频振动台台面中心，保证被测加速度计、参考加速度计的传感方向与振动台台面运动方向一致。控制振动台在10 Hz频率点进行正弦激振，激振时间不少于10 s，激振加速度幅度一般为被测加速度计最大加速度测量范围的1/2（当振动台输出不足时，可减小激振幅度），计算该频率点被测加速度计的输出电压幅值与参考加速度计的输出加速度幅值的之比，即为该频率点的参考灵敏度，并计算参考灵敏度与标称值的相对误差。对于加速度计的三个传感方向，应分别进行测试。

（3）测试结果判别：使用振动台比较法进行参考灵敏度误差检查时，被测加速度计的参考灵敏度误差应优于±6%。

**B.6 参考灵敏度误差的检查（地震事件响应计算方法）**

对于同站架设有地震计的台站，当地震事件（含人工震源、天然地震）发生时，可参照B.1的方法，对地震计和被测加速度计的观测设备响应波形进行处理，计算被测加速度计参考灵敏度误差，测试结果判别方法同B.3。

**B.7 灵敏度幅频误差的检查（振动台比较法）**

（1）测试设备

a）低频振动台（便携式）：频率范围不小于1 Hz～20 Hz，最大位移≥100 mm，最大峰值加速度≥19.6 m/s2，振动台总质量≤30 kg，最大负载能力≥5 kg，台面尺寸≥200 mm×200 mm。

b）（参考）加速度计：频率范围不小于1 Hz～20 Hz，最大峰值加速度≥19.6 m/s2，参考灵敏度误差≤3%。

（2）测试方法

参照B.1.3参考灵敏度误差的检查方法，测试频率点应至少包括1 Hz、5 Hz、10 Hz和20 Hz，计算各频率点被测加速度计的输出电压幅值与参考加速度计的输出加速度幅值之比作为该频率点的灵敏度，各频率点与参考频率点灵敏度（10Hz）之比，以对数形式表示，作为灵敏度幅频误差检查结果。

（3）测试结果判别：以10 Hz作为参考点，被测加速度计其他频率点的灵敏度幅频误差应优于-0.6 dB～0.6 dB。

**B.8 灵敏度幅频误差的检查（标定线圈激励法）**

（1）测试设备：与加速度计配套使用的地震数据采集器。

（2）测试方法：

被测加速度计稳固安装于台站观测场地，设置地震数据采集器，使地震数据采集器输出正弦标定信号序列至加速度计内部标定装置驱动线圈，测试频率点应至少包括1 Hz、5 Hz、10 Hz和20 Hz，输出信号幅值应处于加速度计满量程的10%～70%，每个频率点正弦信号时长不少于10 s。

分别测量各频率点的输出电压值，使用加速度计标称标定灵敏度，计算出各点的灵敏度，单位为 V/（m/s2），各频率点与参考频率点（10Hz）灵敏度之比，以对数形式表示，作为灵敏度幅频误差检查结果。

（3）测试结果判别：以10 Hz作为参考点，被测加速度计其他频率点的灵敏度幅频误差应优于-0.6 dB～0.6 dB。

附录C

强震动加速度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.外观及功能检查

2.参考灵敏度误差 %

3.灵敏度幅频误差

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 加速度/(m/s2) | 灵敏度/(V/(m/s2)) | 灵敏度幅频误差/% |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

4.幅值线性度 %

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 加速度/(m/s2) | 响应幅值/V | 线性偏差/% |
|  |  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

5.横向灵敏度比

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 频率/Hz | 传感方向灵敏度/(V/(m/s2)) | 正交方向灵敏度/(V/(m/s2)) | 横向灵敏度比/% |
|  |  |  |  |
|  |  |

6.温度漂移 （m/s2）/℃

7.噪声 （m/s2）

检定环境条件：温度： 相对湿度： 其他：

注：加速度计各传感方向检定结果应分别列出。

附录D

强震动加速度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，该加速度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：