

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF XXX—XXXX

地震数据采集器校准规范

Calibration Specification for Seismic Data Acquisition Systems
(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

国家市场监督管理总局 发布

地震数据采集器校准规范

Calibration Specification for
Seismic Data Acquisition Systems

JJF 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：XXXX

XXXX

参加起草单位：XXXX

XXXX

本规范委托全国地震专用计量测试技术委员会负责解释

本规范主要起草人：

XXX (XXXX)

XXX (XXXX)

XXX (XXXX)

参加起草人：

XXX (XXXX)

XXX (XXXX)

XXX (XXXX)

XXX (XXXX)

目 录

引 言	2
1 范围	3
2 引用文件	3
3 术语和计量单位	3
3.1 术语	3
3.2 计量单位	4
4 概述	4
5 计量特性	4
6 校准条件	5
6.1 环境条件	5
6.2 测量标准及其他设备	5
7 校准项目和校准方法	5
7.1 校准项目	5
7.2 校准方法	6
8 校准结果表达	13
8.1 校准证书	错误！未定义书签。
8.2 数据修约	错误！未定义书签。
9 复校时间间隔	13
附录 A 正弦波测试数据处理方法	14
附录 B 基于采集数据的时间偏差计算方法	15
附录 C 校准原始记录格式	17
附录 D 校准证书内页格式	20
附录 E 测量不确定度评定示例	23
附录 F 动态范围和有效位数计算方法	29
附录 G 数据采集器其他测试项目和测试方法	30

引 言

本规范依据JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》编制。

地震观测仪器具有宽频带、大动态、高分辨、低失真的特点。本规范结合地震数据采集器校准的实际情况，主要参照地震行业标准DB/T 22-2020《地震观测仪器进网技术要求地震仪》编写，规定了地震数据采集器的计量特性、校准项目和校准方法，并做了部分补充。

本规范为首次发布。

地震数据采集器校准规范

1 范围

本规范适用于电压测量上限不超过40V（峰-峰值）、采样速率（1~200）sps的地震数据采集器的校准，包括各类将测震传感器输出的模拟电压信号转换成数字量并记录的地震数据采集器。采用其它模拟量输入或测量范围的地震数据采集器，可参照本规范进行校准。

2 引用文件

本规范引用了下列文件：

JJF 1001-2011 通用计量术语及定义

JJF 1156-2006 振动冲击转速计量术语及定义

JJF 1180-2007 时间频率计量名词术语及定义

JJF 1188-2008 无线电计量名词术语及定义

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范；凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本规范。

3 术语和计量单位

3.1 术语

JJF 1001、JJF 1156、JJF 1180和JJF 1188界定的及以下术语和定义适用于本规范。

3.1.1 地震数据采集器 seismic data acquisition device

将地震传感器输出的电压模拟信号通过采样、量化，转化成具有幅度量化特征和时序抽样特性的离散数字信号并记录 and 使用的装置。

3.1.2 总谐波失真度 total harmonic distortion

非正弦函数的谐波含量有效值与该非正弦函数本身的有效值之比。

3.1.3 采样率 sample rate

数据采集系统在采集数据过程中，某一采集通道在单位时间内采集的数据个数，也称为采样速度、采样频率或通道采集速率。单位为Hz，也可记作sps(sample per second，每秒采样次数)。

3.1.4 时间偏差 time offset

时标（或时钟）相对参考时标（或参考钟）的时刻差。

3.1.5 时间标准偏差 time standard deviation

多次测得的时差与其平均值之差的均方根值，用贝塞尔公式计算。

3.1.6 最大时间间隔误差 maximum time interval error

同步后本地信号与参考信号相位差（时差）的最大变化量，用峰—峰值表示。

3.2 计量单位

采用的计量单位有：秒（s），赫兹（Hz），伏特（V）和级差（dB）。

4 概述

地震数据采集器一般与地震计、强震动加速度计等地震传感器配合使用，采用双端平衡差分输入方式，将传感器输出的电压模拟信号转换为数字信号。为满足三分向地震监测需求，地震数据采集器一般至少具备3个相互独立的数据采集通道。

地震数据采集器通常使用24位及以上A/D转换器件实现模拟信号的采样和量化，将模拟信号采样转化为时间离散信号，并对每一个采样的幅值量化为数字编码表示，量程可设置为 $\pm 5\text{ V}$ 、 $\pm 10\text{ V}$ 、 $\pm 20\text{ V}$ 等。为了在采样过程中尽可能减小频率混叠，地震数据采集器往往使用较高的采样率对模拟信号进行采样，再使用线性相位或最小相位数字滤波器进行滤波抽取，得到50 sps、100 sps和200 sps等低采样率数据，采样滤波器的高端截止频率一般不低于采样率的40%。地震数据采集器一般具有内部时钟，通过卫星授时或网络授时实现内部时钟与协调世界时（UTC）的时间同步，并且为每一个采样点赋予相应的时间戳。

除上述特性之外，地震数据采集器还具有标定信号输出、地震事件触发、数据存储传输、地震计控制等功能，采样数据一般存储为miniSEED、SEED和SAC等格式，以适应地震监测应用需求。

5 计量特性

地震数据采集器的计量特性见表1。

表1 计量特性

序号	所属类型	计量特性	技术指标 (最大允许误差)
1	数据采集	零输入噪声（有效值）	$4\text{ }\mu\text{V}$
2		转换因子相对误差	0.3%
3		线性度误差	0.01%
4		幅频特性	通道波动 $\leq 0.05\text{ dB}$ 阻带衰减 $\leq -130\text{ dB}$
5		相频特性	相位误差 $\leq 3\%$
6		总谐波失真度	0.01%
7	时间同步	时间偏差	$\pm 200\text{ }\mu\text{s}$
8		时间标准偏差	$10\text{ }\mu\text{s}$
9		最大时间间隔误差	$30\text{ }\mu\text{s}$
10	时间保持	时钟漂移率	$\pm 0.0001\%$

注：上述指标不适用于合格性判别，仅供参考。

6 校准条件

6.1 环境条件

6.1.1 环境温度：(23±5)℃；

6.1.2 相对湿度：≤80%，无结露；

6.1.3 供电电源：(220±11)V，(50±1)Hz；

6.1.4 周围无影响仪器正常工作的电磁干扰和机械振动，并具有良好的接地。

6.2 测量标准及其他设备

6.2.1 低失真信号发生器

a) 正弦频率范围：5 Hz～200 Hz；

b) 正弦电压幅度：≥4 V（峰-峰值，双端平衡差分输出）；

c) 幅值平坦度：优于±0.02 dB；

d) 总谐波失真度（5 Hz）：≤0.003%；

e) 具备外部脉冲触发零相位正弦信号输出功能。

6.2.2 时间频率标准装置

a) 具备1PPM（分脉冲）、1PPS（秒脉冲）输出功能；

b) 1PPS时间偏差：≤1 μs（卫星授时锁定模式）；

c) 脉冲幅度：≥1 V（峰-峰值）；

d) 脉冲上升时间：≤20 ns；

e) 频率稳定度（1s）：≤1×10⁻¹⁰。

6.2.3 电压校准仪（选配）

a) 直流电压幅度：±（0.2～10）V；

b) 直流电压最大允许误差：≤0.001%；

c) 交流电压幅度：（2～30）V（峰-峰值）；

d) 交流电压频率：（10～100）Hz；

e) 交流电压最大允许误差：≤0.1%。

注：1. 当单台设备不能符合全部指标要求时，可由多台设备组合使用。

2. 电压校准仪为选配设备，可根据拟开展的校准项目自行选择，不做强制要求。

3. 校准用输入输出信号线长一般在1 m～2 m，线型采用与实际使用时相同种类，或依照设备说明书规定。其他情况，应使用接地屏蔽双绞线。

7 校准项目和校准方法

7.1 校准项目

地震数据采集器校准项目见表2。

对于使用中的设备，建议做外观及功能检查，并校准零输入噪声（有效值）、幅频特性和总谐波失真度。

表 2 校准项目一览表

序号	校准项目	校准方法条款	备注
1	外观及功能检查*	7.2.1	
数据采集特性			
2	零输入噪声（有效值）*	7.2.3	
3	转换因子相对误差	7.2.4	
4	线性度误差	7.2.5	
5	幅频特性*	7.2.6	
6	相频特性	7.2.7	
7	总谐波失真度*	7.2.8	
时间同步特性（授时卫星锁定）			
8	时间偏差	7.2.9	
9	时间标准偏差	7.2.9	
10	最大时间间隔误差	7.2.9	
时间保持特性（授时卫星失锁）			
11	时钟漂移率	7.2.10	
注：对于使用中的设备，建议对加*的项目进行校准。			

7.2 校准方法

7.2.1 外观及功能检查

a) 外观检查

被校地震数据采集器应外观完好，无影响正常工作的机械损伤。仪器名称、型号、制造厂商或商标、出厂编号等信息应齐全，并配有使用说明书、操作软件和全部附件。

b) 功能检查

按使用说明书通电后，检查被校地震数据采集器是否工作正常。仪器应具有至少三个双端平衡差分输入采集通道，量程、采样率、滤波器可选择设置，最大量程不小于 $\pm 20\text{ V}$ ，采样率可设置为50 sps、100 sps或200 sps，FIR数字滤波器可设置为最小相移特性或线性相移特性。仪器还应具有卫星或网络时间同步、标定信号输出、地震事件触发、数据存储传输和地震计控制等功能。

对于测量范围和授时功能，还应做如下检查。

测量范围检查：使用信号发生器或电压校准仪连接到数据采集通道输入端，校准信号幅度设置为被校数据采集器测量范围的120%，校准信号频率设置为被校数据采集器采样率的0.01倍。连续记录数据，使其至少包含2个完整周期的校准信号，找出记录数据中的最

大值和最小值并转换为电压量作为测量范围检查结果。检查结果一般应不小于标称测量范围的95%。

授时功能检查：被校数据采集器接入卫星或网络授时信号后，通过随机软件查看仪器时间和记录钟差，仪器时间应可同步至北京时间（UTC+8）。

7.2.2 校准前准备

a) 地震数据采集器的校准设备应预热至少 30 分钟（另有要求的除外）。

b) 每个项目校准前，应按照校准方法的要求设置被校地震数据采集器的量程、采样率和滤波器等采集参数。当用户有特殊要求是，也可按用户要求设置采集参数。采集参数设置情况应在校准报告中予以说明。

c) 一般情况下，应对数据采集器的各采集通道分别进行校准。

7.2.3 零输入噪声（有效值）

按图1连接，将被校数据采集器的正输入端、负输入端与信号地短接。

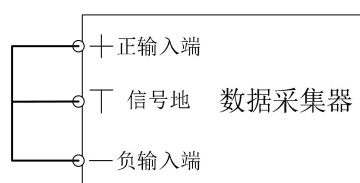


图1 零输入噪声（有效值）校准接线图

7.2.3.1 时域校准方法

a) 数据采集器采样率设置为100 sps，滤波器设置为最小相位或线性相位，量程设置为±20 V，连续记录不少于100 s的数据。

b) 截取10000个采样点的采集数据，将采集数据转化为电压值，去除线性趋势后，得到采样序列 $x[n](n = 0, 1, \dots, N - 1)$ ，按式（1）和式（2）可计算零输入噪声（有效值） N_{rms} 作为校准结果，校准结果的单位为 μV ，频带范围为0.01 Hz~40 Hz。

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \quad (1)$$

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{n=0}^{N-1} (x[n] - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (2)$$

说明：校准结果的频带范围由采样率和采样点数决定，频带上限为采样率的40%，频带下限为采样率与采样点数的商。

7.2.3.2 频域校准方法

a) 数据采集器采样率设置为200 sps，量程设置为±20 V，连续记录不少于20 min的数据。

b) 将采集数据转化为电压值，并按以下方法进行计算。

数据采集器的采集数据序列为 $x[n]$ ($n = 0, 1, \dots, N - 1$)，将其分为 R 段，每段长度为 M 。其中， M 可设为100000，相邻数据段之间应有至少50%数据重叠。

对每段数据，按式 (3) 做去均值和加窗处理。

$$x_r[m] = \left(x[rM + m] - \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x[rM + m] \right) \cdot w[m] \quad (3)$$

式中：

$x[n]$ ——采集数据序列，单位为 μV ；

$w[m]$ ——窗函数，可选择汉宁窗、汉明窗或高阶广义余弦窗；

$x_r[m]$ ——分段后的采集数据序列，即第 r 段第 m 个采集数据，单位为 μV 。

对 $x_r[m]$ 进行快速傅里叶变换，得到 $X_r[m]$ 。按式 (4) 至式 (7) 计算功率谱密度 $P[m]$ ，单位为 $\mu\text{V}^2/\text{Hz}$ 。

$$U = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} (w[m])^2 \quad (4)$$

$$I_r[m] = \frac{T}{MU} |X_r[m]|^2 \quad (5)$$

$$\bar{I}[m] = \frac{1}{R} \sum_{r=0}^{R-1} I_r[m] \quad (6)$$

$$P[m] = \begin{cases} \bar{I}[m], & m = 0 \\ 2\bar{I}[m], & 0 < m < \frac{M}{2} \\ \bar{I}[m], & m = \frac{M}{2} \end{cases} \quad (7)$$

在频带范围0.01 Hz~40 Hz内，按式 (8) 计算零输入噪声（有效值） N_{rms} 作为校准结果，单位为 μV 。

$$N_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T_S M} \sum_{m=i}^j P[m]} \quad (8)$$

式中：

T_S ——数据采集器的采样周期，单位为s；

i ——功率谱密度中频带范围下限对应的序列索引值；

j ——功率谱密度中频带范围上限对应的序列索引值。

7.2.4 转换因子相对误差

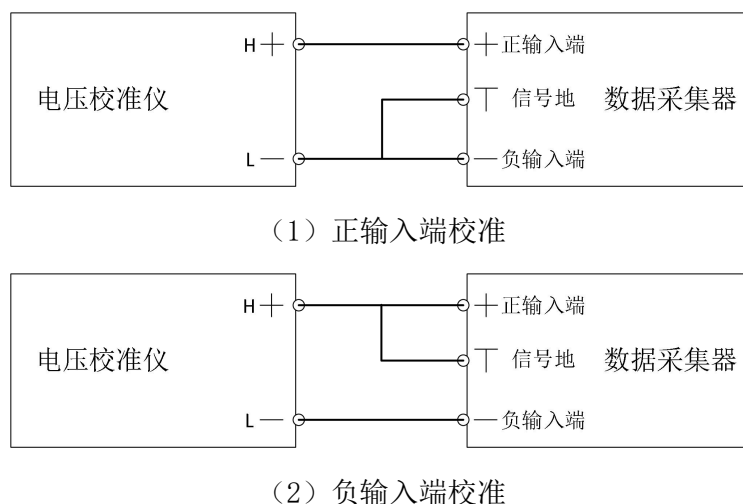


图2 转换因子相对误差、线性度误差校准接线图

a) 按图2连接。被校数据采集器采样率设置为100 sps或200 sps，滤波器设置为最小相位或线性相位，量程设置为常用量程。

b) 调节电压校准仪的直流电压输出值，使其分别为数据采集器量程的-0.8、-0.4、0、0.4、0.8倍，每个校准点的数据记录时间不少于30 s。

c) 计算各校准点数据采集器采集数据序列的平均值 $y[n]$ ，将电压校准仪对应的电压输出值记为 $x[n]$ ，按式(9)至式(12)使用最小二乘法拟合 $x[n]$ 和 $y[n]$ 的线性回归直线，斜率 B 的倒数为数据采集器的转换因子。

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \quad (9)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} y[n] \quad (10)$$

$$B = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} x[n]y[n] - N\bar{X}\bar{Y}}{\sum_{n=0}^{N-1} x[n]^2 - N\bar{X}^2} \quad (11)$$

$$A = \bar{Y} - B\bar{X} \quad (12)$$

d) 按图2的接线方式，分别对数据采集器正输入端和负输入端的转换因子进行校准，取其平均值作为数据采集器转换因子校准值，其与标称转换因子的相对误差作为校准结果。当电压校准仪具有双端平衡差分输出时，可按图3连接并进行校准。

e) 对于已进行线性度误差校准的数据采集器，可使用线性度误差校准数据计算转换因子相对误差。

f) 当电压校准仪具有双端平衡差分输出时，可按图3连接并进行校准。

7.2.5 线性度误差

a) 按图2连接, 分别对数据采集器正输入端和负输入端的线性度误差进行校准。被校数据采集器采样率设置为100 sps或200 sps, 滤波器设置为最小相位或线性相位, 量程设置为常用量程。

b) 调节电压校准仪的直流电压输出值, 使其分别为数据采集器量程的-0.95、-0.9、-0.8、-0.7、-0.6、-0.5、-0.4、-0.3、-0.2、-0.1、0、0.1、0.2、0.3、0.4、0.5、0.6、0.7、0.8、0.9、0.95倍, 每个校准点的数据记录时间不少于30 s。

c) 计算各校准点数据采集器采集数据序列的平均值 $y[n]$, 并将其转化为电压量。将电压校准仪对应的电压输出值记为 $x[n]$, 按式(9)至式(12)使用最小二乘法拟合 $x[n]$ 和 $y[n]$ 的线性回归直线。

d) 按式(13)计算各校准点的校准结果与拟合线性回归直线的偏差 $\Delta[n]$ 。

$$\Delta[n] = A + Bx[n] - y[n] \quad (13)$$

e) 按式(14)计算 $\Delta[n]$ 绝对值的最大值与数据采集器的标称测量范围 E 之比 γ 作为校准结果。

$$\gamma = \frac{\max(|\Delta[n]|)}{E} \times 100\% \quad (14)$$

f) 当电压校准仪具有双端平衡差分输出时, 可按图3连接并进行校准。

7.2.6 幅频特性

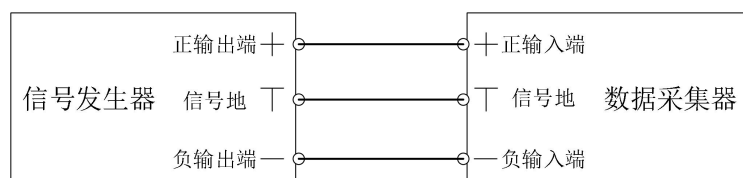


图3 幅频特性校准接线图

a) 按图3连接。数据采集器采样率设置为100 sps, 量程设置为常用量程, 滤波器设置为最小相位或线性相位。

b) 调节信号发生器输出正弦校准信号, 校准信号频率在1 Hz~85 Hz范围内间隔选取, 其中, 小于40 Hz的校准点用于测量通带波动, 55 Hz~85 Hz之间的校准点用于测量阻带衰减。校准点可选择1 Hz、5 Hz、10 Hz、15 Hz、20 Hz、25 Hz、30 Hz、35 Hz、40 Hz、45 Hz、50 Hz、67 Hz、77 Hz、85 Hz等频率, 校准信号幅值为数据采集器量程的10%~70%。

c) 在每个校准点, 数据采集器记录不少于30 s的数据。

d) 按照附录A的方法分别计算各校准点采集数据序列的正弦信号幅值 S_f 。

e) 按式(15)计算数据采集器的幅频特性。

$$V_f = 20 \times \log_{10} \frac{A_f}{A_0} \quad (15)$$

式中：

A_f —— f 频率点的采集数据序列正弦信号幅值，单位为V；

A_0 ——参考频率点（1 Hz或5 Hz）的采集数据序列正弦信号幅值，单位为V；

V_f ——幅频特性校准结果，单位为dB。

f) 当使用电压校准仪作为测量标准时，应按图2连接，对数据采集器的正输入端和负输入端分别进行校准。

7.2.7 相频特性

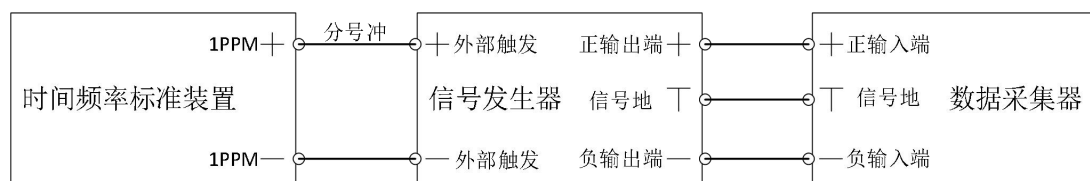


图4 相频特性校准接线图

a) 按图4连接。数据采集器采样率设置为100 sps，量程设置为常用量程，滤波器设置为最小相位或线性相位。

b) 使用时间频率标准装置的分脉冲（1PPM）触发信号发生器输出零相位正弦校准信号，校准信号频率在1 Hz~40 Hz范围内间隔选取，可选择1 Hz、5 Hz、10 Hz、15 Hz、20 Hz、25 Hz、30 Hz、35 Hz、40 Hz等频率，校准信号幅值为数据采集器量程的10%~70%。

c) 在每个校准点，数据采集器记录不少于30 s的数据。

d) 按照附录A的方法分别计算各校准点采集数据序列的正弦信号相位 ϕ_f 。

e) 按式（16）计算数据采集器的相频特性。

$$\Delta\phi_f = \phi_f - \phi_0 \quad (16)$$

式中：

ϕ_f —— f 频率点的采集数据序列正弦信号相位，单位为°；

ϕ_0 ——参考频率点（1 Hz或5 Hz）的采集数据序列正弦信号相位，单位为°；

$\Delta\phi_f$ ——相频特性校准结果，单位为°。

7.2.8 总谐波失真度

a) 按图3连接。被校数据采集器采样率设置为100 sps，量程设置为常用量程，滤波器设置为最小相位或线性相位。

b) 调节信号发生器输出低失真正弦信号，校准信号频率为1 Hz或5 Hz，幅值为数据采集器量程的10%~70%。

c) 被校数据采集器记录不少于120 s的数据，按照附录A的方法计算采集数据序列的总谐波失真度作为校准结果。

7.2.9 时间同步特性

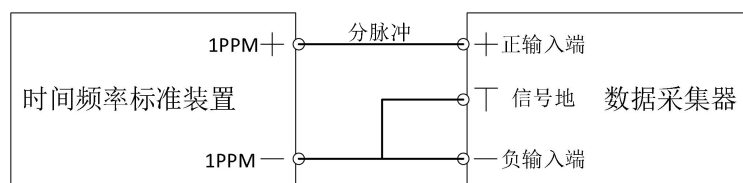


图5 时间同步特性和时间保持特性校准接线图

a) 按图 5 连接。时间频率标准装置通过卫星授时并驯服，将其分脉冲（1PPM）输出信号连接数据采集器的输入端，分号脉冲宽度宜不小于 100 ms。

b) 数据采集器采样率设置为 100 sps 或 200 sps，量程设置为常用量程，滤波器设置为最小相位或线性相位。

c) 数据采集器时间同步（授时卫星锁定）后，数据采集器记录不少 600 s 的数据。

d) 按照附录 B 中给出的方法计算连续 10 个时间脉冲的钟差，获得一组时钟偏差 $t[n]$ 。

e) 计算 $t[n]$ 的平均值作为数据采集器时间偏差的校准结果，单位为 μs 。

f) 计算 $t[n]$ 的实验标准偏差（使用贝塞尔公式）作为数据采集器时间标准偏差的校准结果，单位为 μs 。

g) 计算 $t[n]$ 的极差作为数据采集器最大时间间隔误差的校准结果，单位为 μs 。

h) 一般应选取时钟脉冲上升沿幅度的 50% 计算时钟偏差。当用户有特殊要求时，可按客户要求的幅度（如时钟脉冲上升沿幅度的 10%）计算，应在校准报告中予以说明。

7.2.10 时间保持特性

a) 按照 7.2.9 a) 至 e) 的方法，计算数据采集器时间同步条件下的时间偏差 T_0 。

b) 断开数据采集器的授时源，使数据采集器内部时钟处于自由运行状态，记录数据直至 3600 s 之后。

c) 数据采集器的授时源保持中断，再次按照 7.2.9 a) 至 e) 的方法，计算数据采集器的时间偏差 T_e 。

d) 按式 (16) 计算 T_d 作为时钟漂移率的校准结果。

$$T_d = \frac{T_e - T_0}{t \times 3600000} 100\% \quad (16)$$

式中：

T_e ——授时卫星失锁后的数据采集器时间偏差，单位为 μs ；

T_0 ——授时卫星锁定时数据采集器时间偏差，单位为 μs ；

t ——自断开授时源至时间偏差测量期间的自由运行时间，单位为 h；

T_d ——时钟漂移率校准结果。

8 校准结果表达

校准结果应在校准证书上反应，校准证书应至少包括以下信息：

- a) 标题：“校准证书”；
- b) 实验室名称和地址；
- c) 进行校准的地点（如果与实验室的地址不同）；
- d) 证书的唯一性标识（如编号），每页及总页数的标识；
- e) 客户的名称和地址；
- f) 被校对象的描述和明确标识；
- g) 进行校准的日期，如果与校准结果的有效性或应用有关时，应说明被校对象的接收日期；
- h) 如果与校准结果的有效性或应用有关时，应对被校样品的抽样程序进行说明；
- i) 校准所依据的技术规范的标识，包括名称及代号；
- j) 本次校准所用测量标准的溯源性及有效性说明；
- k) 校准环境的描述；
- l) 校准结果及其测量不确定度的说明；
- m) 对校准规范的偏离的说明；
- n) 校准证书或校准报告签发人的签名、职务或等效标识；
- o) 校准结果仅对被校对象有效的声明；
- p) 未经实验室书面批准，不得部分复制证书的声明。

校准原始记录格式见附录C，校准证书内页格式见附录D。

9 复校时间间隔

建议复校时间间隔为1年。由于复校时间间隔的长短是由仪器的使用情况、使用者、仪器本身质量等诸因素所决定的，因此，送校单位可根据实际使用情况自主决定复校时间间隔。

附录 A

正弦波测试数据处理方法

A.1 计算正弦波幅值和相位的频域方法

设正弦波测试序列为 $x_n(n=0\cdots N-1)$ ，采样率为 f_s ，测试信号的频率为 f_0 。若 $k=Nf_0/f_s$ 为整数，则可按公式(A.1)傅里叶变换式直接计算正弦波峰值：

$$A = \frac{2}{N} |X(k)| = \frac{2}{N} \left| \sum_{n=0}^{N-1} x_n e^{-j2\pi n f_0 / f_s} \right| \quad \text{..... (A. 1)}$$

可按公式(A.2)傅里叶变换式直接计算正弦波相位：

$$\phi = \arctan\left(\frac{\text{Im}(X(k))}{\text{Re}(X(k))}\right) \times 180/\pi \quad \text{..... (A. 2)}$$

A.2 总谐波失真度计算方法

设正弦波测试序列为 $x_n(n=0\cdots N-1)$ ，采样率为 f_s ，测试信号的频率为 f_0 。对 x_n 加窗后进行傅里叶变换计算，求出基波 f_0 及各次谐波 kf_0 ($k=2,3,4,5$)的振幅谱 $|A_k|$ ($k=1,2,3,4,5$)，可按公式(A.3)计算总谐波失真度：

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^M A_k^2}}{\sqrt{\sum_{k=1}^M A_k^2}} \times 100\% \quad \text{..... (A. 3)}$$

A.3 窗函数

计算傅里叶变换时使用窗函数抑制频谱泄露效应。使用低失真度信号源测试数据采集器谐波失真度时，应使用表A.1第7项或第8项所对应的高阶广义余弦窗函数，其他情况可使用表A.1第1项至第6项所对应的窗函数。

计算序列长度为 N 的余弦窗函数的通用表达式为式(A.4)：

$$w(n) = A_0 - A_1 \cos \frac{2\pi n}{N} + A_2 \cos \frac{4\pi n}{N} - A_3 \cos \frac{6\pi n}{N} + \cdots \quad \text{..... (A. 4)}$$

式中系数 A_i 的取值参见表A.1。

表A.1 部分余弦窗函数系数表

序号	窗函数	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
1	汉宁窗	0.5	0.5				
2	汉明窗	0.54	0.46				
3	布莱克曼窗	0.42	0.5	0.08			
4	2阶广义余弦窗	5.38355e-1	4.61645e-1				
5	3阶广义余弦窗	4.24380e-1	4.97341e-1	7.82793e-2			
6	4阶广义余弦窗	3.63582e-1	4.89177e-1	1.36600e-1	1.06411e-2		
7	5阶广义余弦窗	3.23215e-1	4.71492e-1	1.75534e-1	2.84970e-2	1.26136e-3	
8	6阶广义余弦窗	2.93558e-1	4.51936e-1	2.01416e-1	4.79261e-2	5.02620e-3	1.37556e-4

附录 B

基于采集数据的时间偏差计算方法

B.1 数据内插

B.1.1 数据段截取

截取包含标准时间脉冲的采集数据段。脉冲的前沿（上升沿）表示整秒时刻。读取和记录截取数据段第1个采样点的采样时刻，记为 t_0 ，该 t_0 值是基于数据采集器内部时钟给出的采样时刻。

B.1.2 基于线性相位有限冲激响应（FIR）低通数字滤波器的内插方法

设截取数据段的采样点数为 M ，采样率为 f_s ，记 A_L 为脉冲沿之前低电平平均值，记 A_H 为脉冲沿之后高电平平均值。使用公式（B.1）对截取数据段进行基线校正。

$$x(i) = x(i) - \frac{A_L + A_H}{2}, \quad 1 \leq i \leq M \quad \text{..... (B.1)}$$

对于基线校正后的数据段，每个采样点之后均插入3个0，插0后的数据序列为 $x(n)$ ，其采样点数为 $4M$ ，采样率为 $4f_s$ 。

设计线性相位FIR低通数字滤波器，滤波器的通带波纹不大于0.1 dB，阻带衰减不小于90 dB，通带频率范围为 $0 \sim 0.4f_s$ ，阻带频率范围为 $0.5f_s \sim 2f_s$ 。滤波器单位冲激响应 $h(n)$ 的数据长度应取值为奇数 N 。按照公式（B.2）对F.1.2.2插0后的序列 $x(n)$ 进行滤波计算。

$$y(i) = \sum_{n=1}^N h(n)x(i+n-N/2-1) \quad \text{..... (B.2)}$$

式中 $i = 1, 2, 3, \dots, 4M$ 。

滤波计算时需注意 $i+n-N/2-1$ 的取值范围，记 $m = i+n-N/2-1$ ，当 $m \leq 0$ 或 $m > 4M$ 时，公式（B.2）中的 $x(m) = 0$ 。滤波后的 $y(i)$ 即为采集数据段1:4内插后的数据序列。

按照上述算法进行第2次插值。两次插值之后的采样率为 $16f_s$ ，插值后的序列记为 $y(n)$ 。

B.1.3 频域内插方法

设截取数据段 $x(m)$ 的采样点数为 M ，采样率为 f_s 。记 A_L 为脉冲沿之前低电平平均值，记 A_H 为脉冲沿之后高电平平均值，按照公式（B.3）生成长度为 $2M$ 的对称新序列 $y(m)$ 。

$$y(m) = \begin{cases} x(m) - \frac{A_L + A_H}{2}, & 1 \leq m \leq M \\ \frac{A_L + A_H}{2} - x(2M - m + 1), & M < m \leq 2M \end{cases} \quad \text{..... (B.3)}$$

对序列 $y(m)$ 进行离散傅里叶变换, 得到序列 $Y(k)$, 见公式 (B.4)。

$$Y(k) = DFT\{y(m)\}, \quad 1 \leq k, m \leq 2M \quad \text{..... (B.4)}$$

按照公式 (B.5) 在序列 $Y(k)$ 的中间插0。

$$Y(k) = \begin{cases} Y(k), & 1 \leq k \leq M \\ 0, & M < k \leq 31M \\ Y(k - 30M), & 31M < k \leq 32M \end{cases} \quad \text{..... (B.5)}$$

对插0后的序列 $Y(k)$ 按照公式 (B.6) 进行离散傅里叶反变换, 得到序列 $y(n)$ 。截取序列 $y(n)$ 的前1/2作为16倍插值序列, 其数据段长度为 $16M$, 采样率为 $16f_s$ 。

$$y(n) = IDFT\{Y(k)\}, \quad 1 \leq n, k \leq 32M \quad \text{..... (B.6)}$$

B.2 时间偏差计算

对于内插后的数据段, 仍然使用 A_L 表示脉冲沿之前低电平平均值, A_H 表示脉冲沿之后高电平平均值, 定义 t_x 表示时钟沿上升 $x\%$ 电平的时刻 (t_{50} 表示时钟沿上升50 %电平, 即 A_L 电平到 A_H 电平的中间值)。按照公式 (B.8) 计算 t_x 。

$$A_x = A_L + (A_H - A_L) \times x\% \quad \text{..... (B.7)}$$

$$t_x = t_0 + \frac{1}{16f_s} \left(m - 1 + \frac{A_x - A_m}{A_{m+1} - A_m} \right) \quad \text{..... (B.8)}$$

式中:

m —— 内插序列 $y(n)$ 中时钟沿上升 $x\%$ 电平时之前的所有数据点数;

A_x —— 时钟沿上升至 $x\%$ 时的电平值;

A_m —— A_x 电平之前临近数据点的电平值;

A_{m+1} —— A_x 电平之后临近数据点的电平值。

记 t_r 为脉冲上升沿的时刻 (分脉冲或秒脉冲), 则 $t_e = t_x - t_r$ 为时间偏差。

注: 钟差 t_e 大于0表示被测仪器的时钟快于标准时钟。

附录 C

校准原始记录格式

委托单位：		校准证书编号：	
委托单位地址：		校准依据：	
仪器名称：	型号规格：	出厂编号：	
制造单位：		仪器状况：	
校准地点：		环境温度： °C	相对湿度： %

校准用主要计量标准器具

名称	型号规格	不确定度/准确度等级/ 最大允许误差	出厂编号	证书编号	有效期

1.外观及功能检查

检查项目	检查结果
UD通道	
EW通道	
NS通道	

2.零输入噪声（有效值）

通道名	校准结果（ μV ）	不确定度（ μV ）
UD通道		
EW通道		
NS通道		

3.转换因子相对误差

输入电压（V）	采集数据（count）	
	UD通道（正输入）	UD通道（负输入）
-8		
-4		

...		
4		
8		
拟合斜率		
转换因子测量值		
转换因子标准值		
校准结果		
不确定度		

4.线性度误差

输入电压 (V)	UD通道 (正输入)		EW通道 (负输入)	
	采集数据 (count)	线性偏差	采集数据(count)	线性偏差
-9.5				
-9				
...				
9				
9.5				
拟合斜率				
拟合截距				
校准结果				
不确定度				

5.幅频特性和相频特性

(_____) 通道						
频率 (Hz)	输入电压 (V)	采集波形幅值 (V)	幅频特性 (dB)	不确定度 (dB)	相频特性 (°)	不确定度 (°)
1						
5						
...						
...						
...						

6.总谐波失真度

通道名	校准结果	不确定度
UD通道		
EW通道		
NS通道		

7.时间同步和保持特性

	1PPM序号	时间同步（卫星锁定） 校准时间：_____	时间保持（卫星失锁） 校准时间：_____
		采集时间偏差（ μs ）	采集时间偏差（ μs ）
校准数据	1		
	2		
	...		
	10		
时间偏差	校准结果（ μs ）		
	不确定度（ μs ）		
时间标准 偏差	校准结果（ μs ）		
	不确定度（ μs ）		
最大时间 间隔误差	校准结果（ μs ）		
	不确定度（ μs ）		
时钟漂移 率	校准结果		
	不确定度		

附录 D

校准证书内页格式

证书编号 XXXXXX—XXXX

校准机构授权说明				
校准环境条件及地点：				
温 度	℃	地 点		
相对湿度	%	其 他		
校准所依据的技术文件（代号、名称）：				
校准所使用的主要测量标准：				
名称	测量范围	不确定度/ 准确度等级/ 最大允许误差	检定/校准 证书编号	证书有效期至

- 注：
- 1. XXXXX 仅对加盖“XXXXXX 校准专用章”的完整证书负责。
 - 2. 本证书的校准结果仅对所校准的对象有效。
 - 3. 未经实验室书面批准，不得部分复印证书。

证书编号 XXXXXX—XXXX

校 准 结 果

1.外观及功能检查:

2.零输入噪声（有效值）

通道名	校准结果（ μV ）	不确定度（ μV ）
UD通道		
EW通道		
NS通道		

3.转换因子相对误差

通道名	转换因子测量值 （ $\mu\text{V}/\text{c}$ ）	校准结果	不确定度
UD通道			
EW通道			
NS通道			

4.线性度误差

通道名	校准结果	不确定度
UD通道		
EW通道		
NS通道		

5.幅频特性和相频特性

（_____）通道						
频率 （Hz）	输入电压 （V）	采集波形 幅值（V）	幅频特性 （dB）	不确定度 （dB）	相频特性 （°）	不确定度 （°）
1						
5						
...						
...						
...						

证书编号 XXXXXX—XXXX

校准结果

6.总谐波失真度

通道名	校准结果	不确定度
UD通道		
EW通道		
NS通道		

7.时间同特性

校准项目	校准结果 (μs)	不确定度 (μs)
时间偏差		
时间标准偏差		
最大时间间隔误差		

8.时钟漂移率： _____ %（不确定度： _____ %）

校准结果不确定度的评估和表述均符合 JJF 1059.1 的要求。

校准员：

核验员：

第 X 页 共 X 页

附录 E

测量不确定度评定示例

C.1 零输入噪声（有效值）校准不确定度评定

C.1.1 测量方法

采用时域校准方法，被校数据采集器的正输入端、负输入端与信号地短接。

C.1.2 不确定度来源

- (1) 贝塞尔公式计算引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 数据采集器转换因子引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 测量重复性引入的不确定度分量 u_3 。

C.1.3 标准不确定度评定

C.1.3.1 贝塞尔公式计算引入的不确定度分量

查阅相关资料，使用公式 $u_s=s/\sqrt{2(n-1)}$ 计算贝塞尔公式引入的标准不确定度 $u_1=0.01\text{ uV}$ 。其中， s 表示自噪声计算结果， n 表示单次测量的采样点数。

C.1.3.2 数据采集器转换因子引入的不确定度分量

数据采集器转换因子相对误差的最大允许误差为 0.3%。按均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_2=0.03\text{ uV}$ 。

C.1.3.3 测量重复性引入的不确定度分量

在相同环境条件下，重复测量数据采集器零输入噪声（有效值）10 次，获得数据如表 C.1。

表 C.1 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果 (μV)	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_3=0$ 。

C.1.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2+u_3^2}=0.032\text{ uV}$ 。

C.1.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k\times u_c=0.1\text{ uV}$ 。

C.2 转换因子相对误差校准不确定度评定

C.2.1 测量方法

使用电压校准仪输出一系列电压值，记录数据采集器的测量值，用最小二乘法拟合直线，根据直线斜率计算转换因子相对误差。

C.2.2 不确定度来源

- (1) 电压校准仪和测量方法引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.2.3 标准不确定度评定

C.2.3.1 电压校准仪和测量方法引入的不确定度分量

电压校准仪的最大允许误差为 0.001%，对于±10V 量程（单端），各测量点的最大允许误差为 0.0001V，可将拟合直线斜率的最大偏差范围估计为 0.002%。按均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_1=0.0012\%$ 。

C.2.3.2 测量重复性引入的不确定度分量

在相同环境条件下，重复测量数据采集器转换因子相对误差 10 次，获得数据如表 C.2。

表 C.2 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%	0.02%

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_3=0$ 。

C.2.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=0.0012\%$ 。

C.2.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k\times u_c=0.01\%$ 。

C.3 线性度误差校准不确定度评定

C.3.1 测量方法

使用电压校准仪输出一系列电压值，记录数据采集器的测量值，用最小二乘法拟合直线，计算线性度误差。

C.3.2 不确定度来源

- (1) 电压校准仪和测量方法引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.3.3 标准不确定度评定

C.3.3.1 电压校准仪和测量方法引入的不确定度分量

电压校准仪的最大允许误差为 0.001%。按均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_v=0.00057\%$ 。

线性度误差是测量值与拟合值之差，经查阅资料，使用最小二乘法拟合计算线性度误差的标准不确定度可表示为 $u_1=\sqrt{2}\times u_v$ ，计算可得引入的标准不确定度 $u_1=0.00081\%$ 。

C.3.3.2 测量重复性引入的不确定度分量

在相同环境条件下，重复测量数据采集器线性度误差 10 次，获得数据如表 C.3。

表 C.3 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%	0.0006%

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_3=0$ 。

C.3.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=0.00081\%$ 。

C.3.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k\times u_c=0.0017\%$ 。

C.4 幅频特性校准不确定度评定

C.4.1 测量方法

使用低失真信号发生器输出一系列正弦信号，记录数据采集器的测量值，计算幅频特性。

C.4.2 不确定度来源

(1) 信号发生器引入的不确定度分量 u_1 ；

(2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.4.3 标准不确定度评定

C.4.3.1 信号发生器引入的不确定度分量

信号发生器的幅值平坦度最大允许误差为 ± 0.02 dB。按均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_1=0.0116$ dB。

C.4.3.2 测量重复性引入的不确定度分量

以 10 Hz 校准点为例，在相同环境条件下，重复测量数据采集器幅频特性 10 次，获得数据如表 C.4。

表 C.4 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果 (dB)	0.025	0.025	0.026	0.025	0.025	0.026	0.025	0.026	0.025	0.025

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_2=0.0005$ dB。

C.4.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c=\sqrt{u_1^2+u_2^2}=0.0117$ dB。

C.4.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U=k\times u_c=0.024$ dB。

C.5 相频特性校准不确定度评定

C.5.1 测量方法

使用时间频率标准装置的分脉冲触发信号发生器输出零相位正弦校准信号，记录数据采集器的测量值，计算相频特性。

C.5.2 不确定度来源

(1) 时间频率标准装置引入的不确定度分量 u_1 ；

(2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.5.3 标准不确定度评定

C.5.3.1 时间频率标准装置引入的不确定度分量

时间频率标准装置输出分脉冲触发信号的最大时间偏差为 $1\ \mu\text{s}$ ，即可作为校准信号的最大相位偏差。按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。以 $10\ \text{Hz}$ 校准点为例，校准信号引入的最大相位偏差 $\Delta\phi = 360^\circ \times 10\ \text{Hz} \times 1\ \mu\text{s} = 0.0036^\circ$ ，计算可得引入的标准不确定度 $u_1 = 0.00208^\circ$ 。

C.5.3.2 测量重复性引入的不确定度分量

以 $10\ \text{Hz}$ 校准点为例，在相同环境条件下，重复测量数据采集器相频特性 10 次，获得数据如表 C.5。

表 C.5 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果	53.896 °	53.823 °	53.867 °	53.844 °	53.801 °	53.819 °	53.888 °	53.866 °	53.869 °	53.855 °

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_2 = 0.00306^\circ$ 。

C.5.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.0307^\circ$ 。

C.5.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U = k \times u_c = 0.062^\circ$ 。

C.6 总谐波失真度校准不确定度评定

C.6.1 测量方法

使用低失真信号发生器输出低失真正弦校准信号，记录数据采集器的测量值，并计算采集数据的总谐波失真度。

C.6.2 不确定度来源

- (1) 信号发生器引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 测量重复性引入的不确定度分量 u_2 。

C.6.3 标准不确定度评定

C.6.3.1 信号发生器引入的不确定度分量

信号发生器的总谐波失真度最大允许误差为 0.003% 。按均匀分布，则包含因子 $k = \sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_1 = 0.0018\%$ 。

C.6.3.2 测量重复性引入的不确定度分量

以 $5\ \text{Hz}$ 校准点为例，在相同环境条件下，重复测量数据采集器总谐波失真度 10 次，获得数据如表 C.6。

表 C.6 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %	0.002 %

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_2 = 0$ 。

C.6.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2} = 0.0018\%$ 。

C.6.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为： $U = k \times u_c = 0.004\%$ 。

C.7 时间偏差校准不确定度评定

C.7.1 测量方法

使用时间频率标准装置输出分脉冲信号，数据采集器连续记录 10 组数据，并计算采集数据的时间偏差。

C.7.2 不确定度来源

- (1) 分脉冲信号时间偏差引入的不确定度分量 u_1 ；
- (2) 分脉冲信号上升时间引入的不确定度分量 u_2 ；
- (3) 测量重复性引入的不确定度分量 u_3 。

C.7.3 标准不确定度评定

C.7.3.1 信号发生器引入的不确定度分量

时间频率标准装置的分脉冲信号最大时间偏差为 $1\ \mu\text{s}$ 。按均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_1=0.578\ \mu\text{s}$ 。

C.7.3.2 信号发生器引入的不确定度分量

时间频率标准装置的分脉冲信号最大上升时间为 $20\ \text{ns}$ 。按均匀分布，则包含因子 $k=\sqrt{3}$ 。计算可得引入的标准不确定度 $u_2=0.0116\ \mu\text{s}$ 。

C.7.3.3 测量重复性引入的不确定度分量

在相同环境条件下，重复测量数据采集器时间偏差 10 次，获得数据如表 C.7。

表 C.7 重复性测量数据

次数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
测量结果(us)	161.2	168.8	175.2	163.1	168.8	171.2	160.1	165.2	172.3	171.2

经计算，重复性引入的标准不确定度 $u_3=5.08\ \mu\text{s}$ 。

C.7.4 合成标准不确定度

以上不确定度分量彼此不相关，则合成标准不确定度 $u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2} = 5.09\ \mu\text{s}$ 。

C.7.5 扩展不确定度

取包含因子 $k=2$ ，则扩展不确定度为 $U=k \times u_c=10.2\ \mu\text{s}$ 。

C.8 时间标准偏差校准不确定度评定

可参照“C.1 零输入噪声（有效值）校准不确定度评定”的方法，分析贝塞尔公式计算和测量重复性引入的不确定度分量，并进行评定。

C.9 最大时间间隔误差校准不确定度评定

可参照“C.7 时间偏差校准不确定度评定”的方法进行评定。

C.10 时钟漂移率校准不确定度评定

可参照“C.7 时间偏差校准不确定度评定”的方法进行评定。

附录 F

动态范围和有效位数计算方法

动态范围反映地震数据采集器完整记录各范围内振动信号的能力，一般用最大可测试（输出）值与最小可测试（输出）值的比值取自然对数表示。理论上，当只考虑量化误差的影响时，对于典型的 ADC（模数转换器），可按照公式（F.1）计算动态范围。

$$DR = 6.02n + 1.76 \quad (F.1)$$

式中 n 为 AD 转换位数。

地震数据采集器使用的 ADC 芯片标称数据位数一般不低于 24 位，由此带来的量化误差很小，仪器实际自噪声水平决定了最小可测试值，可按照公式（F.2）计算实际动态范围。

$$DR_{\text{实际}} = 20 \times \log_{10} \left(\frac{V_{(\text{peak})}}{V_{\text{noise}(\text{rms})}} \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (F.2)$$

式中， $V_{(\text{peak})}$ 为仪器满量程正弦波单峰值， $V_{\text{noise}(\text{rms})}$ 为仪器实测自噪声有效值。结合公式（F.1）和（F.2），通过实际动态范围可获得数据采集器有效位数 N 。

$$N = \frac{DR_{\text{实际}} - 1.76}{6.02} \quad (F.3)$$

给出地震数据采集器动态范围和有效位数计算结果时，应标明对应的频率范围。

附录 G

数据采集器其他测试项目和测试方法

G.1 数据采集器的其他测试项目

G.1.1 输入电阻

按照 DB/T 22-2020 8.2.8 进行测试。

G.1.2 共模抑制比

按照 DB/T 22-2020 8.2.7 进行测试。

G.1.3 零点误差

按照 DB/T 22-2020 8.2.5 进行测试。

G.2 数据采集器内置标定信号源的测试

G.2.1 最大输出信号幅度

按照 DB/T 22-2020 8.2.12.1 进行测试。

G.2.2 输出信号误差

按照 DB/T 22-2020 8.2.12.2 进行测试。

G.2.3 线性度误差

按照 DB/T 22-2020 8.2.12.5 进行测试。

G.2.4 输出电阻

按照 DB/T 22-2020 8.2.12.3 和 8.2.12.4 进行测试。

G.2.5 正弦信号输出频率和失真度

按照 DB/T 22-2020 8.2.12.6 进行测试。

G.2.6 输出零点偏移

按照 DB/T 22-2020 8.2.12.7 进行测试。