

中华人民共和国国家计量技术规范

JJF ××××—202×

台站型相对重力仪校准规范

**Calibration Specification for Station Type Relative Gravimeter**  
（征求意见稿）

202×-××-× × 发布 202×-××-× × 实施

国 家 市 场 监 督 管 理 总 局 发 布

台站型相对重力仪



JJF ××××–202×

校准规范

**Calibration Specification for**

**Station Type Relative Gravimeter**

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：湖北省地震局

自然资源部第一大地测量队

中国计量科学研究院力声所

参加起草单位：武汉地震计量检定与测量工程研究院

中国地震局第一监测中心

本规范委托全国地震专用计量测试技术委员会负责解释

本规程主要起草人:

李 冀（湖北省地震局）

彭友志（湖北省地震局）

张庆涛（自然资源部大地测量数据处理中心）

李春剑（中国计量科学研究院）

刘正华（湖北省地震局）

参加起草人:

刘海波（武汉地震计量检定与测量工程研究院）

朱传东（中国地震局第一监测中心）

目 录

[引言 II](#_Toc178498982)

[1 范围 1](#_Toc178498983)

[2 引用文件 1](#_Toc178498984)

[3 术语 1](#_Toc178498985)

[4 概述 2](#_Toc178498991)

[5 计量特性 2](#_Toc178498992)

[5.1 零位偏移 2](#_Toc178498993)

[5.2 标度因子 2](#_Toc178498994)

[5.3 仪器漂移 2](#_Toc178498995)

[5.4 仪器噪声 2](#_Toc178498998)

[6 校准条件 3](#_Toc178498999)

[6.1 环境条件 3](#_Toc178499000)

[6.2 测量标准及其他设备 3](#_Toc178499001)

[7 校准项目和校准方法 3](#_Toc178499002)

[7.1 校准前准备 3](#_Toc178499003)

[7.2 零位偏移 3](#_Toc178499004)

[7.3 标度因子 5](#_Toc178499005)

[7.4 仪器漂移 6](#_Toc178499006)

[7.5 仪器噪声 7](#_Toc178499007)

[8 校准结果表达 8](#_Toc178499008)

[9 复校时间间隔 8](#_Toc178499009)

[附录A 9](#_Toc178499010)

[校准证书内页（推荐）格式 9](#_Toc178499011)

[台站重力仪标度因子测量结果不确定度评定示例 10](#_Toc178499012)

引言

本规范依据JJF 1071—2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1001—2011《通用计量术语及定义》、JJF 1059.1—2012《测量不确定度评定与表示》的规定编写。

本规范在制定过程中充分参考了GB/T 20256-2019《国家重力控制测量规范》、DB/T 23-2007 《地震观测仪器进网技术要求 重力仪》中相关技术要求、技术指标和测试方法。

本规范为首次发布。

台站型相对重力仪校准规范

# 1 范围

本规范适用于台站型相对重力仪的校准，其他陆地相对重力仪用于固定连续静态观测时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 1071—2010 国家计量校准规范编写规则；

GB/T 20256-2019 国家重力控制测量规范

DB/T 23-2007 地震观测仪器进网技术要求 重力仪

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

## 3.1 零位偏移 zero offset

台站型相对重力仪倾斜传感器轴向与重力传感器敏感轴向不平行产生的夹角。

## 3.2 标度因子 scale factor

参考重力加速度变化量与台站型相对重力仪示值变化量之比，也称仪器常数。

## 3.3 仪器漂移 instrumental drift

与被测量变化无关的仪器示值的改变。

注：

1.这种改变通常是缓慢的、连续的、且不一定是同方向的。

2.通常用漂移率来定量表示，即在单位时间内，台站型相对重力仪在固定位置连续观测数据经过固体潮改正、大气压改正后的不符值大小。

## 3.4 残余漂移标准偏差 standard deviation of residual drift

台站型相对重力仪在固定位置连续观测数据经过固体潮改正、大气压改正和线性漂移改正后的所有残余漂移的标准偏差。

## 3.5 仪器噪声 instrumental noise

台站型相对重力仪测得值或给出值存在的偏差。

注：仪器噪声往往是随机发生的，通常具有较宽的频谱。

# 4 概述

台站型相对重力仪（以下简称台站重力仪），是一种安装在固定台站，用于连续静态测量安装点位重力加速度变化的设备，在地震监测、火山监测、水文地质以及地球物理参数研究等领域有着重要应用。根据测量原理不同，台站重力仪可分为弹簧型和超导型两大类。弹簧型台站重力仪通过弹簧重力加速度测量系统，将重力加速度变化值转换为重力传感器的微小位移测量或电子反馈力测量。超导型台站重力仪基于超导原理，利用超导磁场悬浮超导质量体，通过测量超导悬浮质量体的位置变化来达到重力加速度测量的目的。

台站重力仪主要由重力加速度传感器、数据采集系统、控制系统三部分组成。控制系统维持重力加速度传感器处于正常工作状态，通过数据采集系统记录传感器测量的重力加速度量值。

# 5 计量特性

## 5.1 零位偏移

台站重力仪零位偏移不超过±10″。

## 5.2 标度因子

标度因子拟合残差的标准差与标度因子拟合值的比值（相对精度）优于。

## 5.3 仪器漂移

### 5.3.1 漂移率

弹簧型台站重力仪漂移率不超过；超导型台站重力仪漂移率不超过。

### 5.3.2 残余漂移标准偏差

弹簧型台站重力仪残余漂移标准偏差不超过；超导型台站重力仪残余漂移标准偏差不超过。

## 5.4 仪器噪声

弹簧型台站重力仪仪器噪声不超过；超导型台站重力仪仪器噪声不超过。

注：以上指标不是用于合格性判定，仅供参考。

# 6 校准条件

## 6.1 环境条件

校准工作在温度在：（20±10）℃下进行，温度变化≤1℃/d，相对湿度≤80%RH，不应有影响校准工作的电磁干扰源，远离大的工业噪声和振动干扰源，具有良好的隔振条件。

## 6.2 测量标准及其他设备

主要测量标准及其他设备见表1。

表1 主要测量标准及其他设备

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 序号 | 设备名称 | 技术要求 |
| 1 | 绝对重力仪 | 短期灵敏度优于2.5×10-6 m·s-2/√Hz |
| 2 | 双轴倾角仪 | 分度值0.01 mm/m，测量范围（-2′~2′） |
| 3 | GNSS接收机 | 大地坐标（*B*、*L*）定位精度：MPE:±1′ |
| 4 | 数字气压表 | 0.05级，具备气压数据自动记录功能 |

注：*B*表示大地纬度，*L*表示大地经度。

# 7 校准项目和校准方法

## 7.1 校准前准备

校准前，台站重力仪应经过48 h以上的稳定观测。校准时，采用GNSS接收机测定校准点大地坐标，并利用数字气压表从整分时刻开启连续大气压观测，采样率不低于1 min。

## 7.2 零位偏移

零位偏移具体校准方法如下：

（1）将台站重力仪安置在观测墩上并精确整平。接通电源，关闭零位偏移补偿功能（若有）。

（2）开启台站重力仪进行重力测量，待读数稳定后，取2 min观测时长的重力测量均值为，并记录其测量时刻*i*。同时，按照GB/T 20256-2019，附录C.1和附录C.2方法分别计算对应时刻理论固体潮重力改正值和大气压重力改正值计算，令，记为时刻*i*的重力归算值。

（3）以双轴倾角仪量值作为参考，将横水准器升高60″，每次重新调整横水准器时，纵水准器需要重新调零，最大偏差控制±4″以内。

（4）如果此时重力归算值升高，则再次在相同方向升高60″，直到重力归算值下降；如果重力归算值下降，则反向调节横水准，每间隔60″处进行1次重力观测，直至重力归算值再次下降。

（5）在纵水准器轴方向上，重复上述（3）、（4）步骤。

（6）在上述过程中，记最大重力归算值的位置角度为（0″，0″），以该位置为参考，再选取(-60″，60″)，(-60″，0″)，(-60″，-60″)，(0″，-60″)，(60″，-60″)和(-60″，0″)共9个位置的横水准器示值、纵水准器和重力归算值，进行零位偏移计算。

测量时刻、位置角度的重力归算值符合公式（1）数学模型：

（1）

式中：

——测量时刻；

——位置角度序号；

——测量时刻、位置角度的重力归算值；

——最大重力归算值；

——标准重力加速度值，；

——相对的位置角度，位置角度时横水准器倾斜角度变化量；

——相对的位置角度，位置角度时纵水准器倾斜角度变化量；

——横水准器零位偏移；

——纵水准器零位偏移。

将公式（1）进行线性化，有9个观测方程，有

= + （2）

式中，为残差，,,,。

泰勒公式在处展开有：

= + （3）

写成矩阵形式：

（4）

根据最小二乘原理，则有：

（5）

得到台站重力仪的零位偏移、为

**,**  （6）

注：如果上述方法不适用，也可采用自带零位调节机构，将零位偏移调制至推荐范围±10″之内。

## 7.3 标度因子

台站重力仪的标度因子采用绝对重力仪同址同步观测法进行校准，校准时间宜选在每月大潮期间，应含农历初一或十五的其中一天。具体校准步骤如下：

（1）确认台站重力仪参数设置正确，工作状态正常且处于连续观测模式，采样率不低于1 min。否则，进行重新设置后开启测量。

（2）将绝对重力仪安置在台站重力仪的同一观测墩上。接通电源，采用GNSS授时或网络授时进行绝对重力仪与台站重力仪的时间同步。

（3）设置绝对重力仪测量参数，待仪器装调并预热完成后，与台站重力仪进行同期同址测量，测量时间不少于48小时，且获得的有效数据的数量不少于4800个，且应覆盖整个测量期间固体潮全部的波峰和波谷。

（4）若测量过程中遇到地震、断电、掉格等事件导致对校准结果影响较大时，需延长观测时长或重新进行测量。

（5）设在测量时刻,绝对重力仪输出量重力值为纵轴,台站重力仪输出量电压为横轴，则有如下观测方程：

（7）

式中：

——测量时刻；

——测量时刻绝对重力仪输出量重力值；

*K*——标度因子；

——测量时刻台站重力仪输出量电压；

——台站重力仪漂移率；

——测量时刻相对起始测量时刻的时间差值；

——待求常数。

令,,,则有误差方程：

（8）

每次测量按等精度定权，采用最小二乘法计算有：

（9）

则标度因子可由下式算得：

（10）

注：如测量过程中不同时段测量数据的分散性较大，为了减小拟合残差，可采用分组加权方式进行处理。

## 7.4 仪器漂移

弹簧型台站重力仪与超导型台站重力仪两者仪器漂移率存在较大差异，采用不同方法进行校准。

7.4.1 弹簧型台站重力仪漂移

弹簧型台站重力仪仪器漂移项目校准可与标度因子项目校准同步完成。因此，漂移率为：

（11）

残余漂移标准偏差为：

（12）

式中：

——重力残差序列；

——合格测量值个数。

7.4.2 超导型台站重力仪漂移

超导型重力仪的仪器漂移采用绝对重力仪两期同址观测法进行校准。每期绝对重力仪观测要求同7.2，（2）、（3）和（4）一致，两期校准观测的时间间隔不少于3个月。

将两期绝对重力仪重力测量时间序列归算至同一参考高度，分别记为、，对应时刻超导型重力仪的重力测量时间序列分别为、，两期有效测量数据个数分别为、，两期校准观测的时间间隔为，则有超导型台站重力仪的漂移率：

（13）

其中，分别为两期有效测量数据个数的序号。

令，，残余漂移标准偏差为：

（14）

## 7.5 仪器噪声

仪器噪声校准方法如下：

（1）采用两台与被校台站重力仪参数相近的仪器，安置在同一观测墩上，要求三台仪器之间距离足够近，且朝向方位一致。

（2）采用GNSS授时或网络授时进行三者的时间同步后，开启连续观测模式，采样时间间隔不低于1 min。

（3）选取连续观测时长不少于7天，且期间内无明显的异常信号（如地震、断电、掉格等异常事件）的数据段进行仪器噪声水平计算。

数据处理方法如下：

仪器观测的地面振动信号记为。用下角标 标识被校仪器，标识其余两台仪器，三台仪器的自身噪声分别记为、和，频率响应分别记为、和，信号输出分别记为、和，则被校台站重力仪输出信号的频谱可表示为：

（15）

假定各仪器的噪声互不相关的，则为、和之间的互功率谱为：

（16）

则被校仪器的噪声功率谱密度为：

（17）

取其在[1 mHz，20 mHz]频段范围内的平均值作为仪器噪声校准结果。

注：如果上述条件不满足，比如，已知被校仪器的传递函数，或只有一台与被校仪器同型号的参考重力仪，也可按上述方法进行观测，数据处理方法可参考DB/T 22-2020，附录E.7和E.8。

# 8 校准结果表达

经校准的台站重力仪出具校准证书。校准证书应符合JJF 1071—2010的要求。校准证书内页推荐格式见附录A。

# 9 复校时间间隔

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，建议不超过1年。

# 

# 附录A

# 校准证书内页（推荐）格式

**1、零位偏差**

（1）横水准器： ″

（2）纵水准器： ″。

**2、标度因子**

m·s-2 / V。

**3、仪器漂移**

（1）漂移率： m·s-2/d；

（2）残余漂移标准偏差： m·s-2。

**4、仪器噪声**

m·s-2/√Hz。

备注：标度因子校准的相对扩展不确定度为*U*rel= （*k* = 2）。

附录B

# 台站重力仪标度因子测量结果不确定度评定示例

B.1 测量方法

使用1台短期灵敏度为1.5×10-7 m·s-2/√Hz的某一型号绝对重力仪，依据7.3规定的校准方法，对某一型号台站重力仪进行标度因子校准。

B.2 测量模型

台站重力仪标度因子的拟合公式可简化为：

(B-1)

式中：

——台站重力仪标度因子；

——绝对重力仪的观测重力变化量；

——台站重力仪的输出电压变化量。

B.3 不确定度来源分析

台站重力仪标度因子校准的不确定度来源主要有两个分量：其中一个分量由测量重复性引入的标准不确定度，其结果等于最小二乘拟合残差的标准差；另一个分量由绝对重力仪和台站重力仪自身引入的不确定度。

B.4 不确定度分量的评定

B.4.1 标度因子拟合标准差引入的不确定度

(B-2)

对试验测量数据进行处理，计算得到台站重力仪的标度因子及其拟合标准差分别为：

则标度因子拟合标准差引入的不确定度为:

B.4.2 仪器自身测量引入的不确定度

依据相对不确定度传播律，有：

(B-3)

由两台仪器的测量数据可得，绝对重力仪测得的重力变化量为0.2483×10-5 m/s2，台站重力仪测得的电压变化量为0.0697 V。

由仪器性能的经验值可得，该型号绝对重力仪测量变化量和台站重力仪测量变化量的标准不确定度分别为5.0×10-9 m/s2和1.4×10-3 V，从而得到：

B.5 合成标准不确定度

B.6 相对扩展不确定度

取包含因子，台站重力仪标度因子测量结果的相对扩展不确定度为：