

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

原子重力仪可靠性测试方法

Reliability testing methods for atomic gravimeters

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目次

前言 III

1 范围 4

2 规范性引用文件 4

3 术语和定义 4

4 可靠性测试核心分类与表征 5

 4.1 按使用工况核心分类 5

 4.2 可靠性测试表征维度 5

5 测试的一般要求 5

 5.1 可靠性测试环境条件 5

 5.2 测试设备要求 5

 5.3 被试样品要求 6

6 可靠性要求及测试方法 6

 6.1 概述 6

 6.2 连续运行率 6

 6.3 连续运行稳定性 6

 6.4 断电复现性 7

 6.5 运输转运复现性 7

 6.6 部署时间 8

7 环境适应性要求及测试方法 8

 7.1 概述 8

 7.2 低温工作 9

 7.3 低温存储 9

 7.4 高温工作 10

 7.5 高温存储 10

 7.6 湿热试验 10

 7.7 低气压试验 11

 7.8 振动测试 11

8 测试要求 11

 8.1 检测项目 11

 8.2 环境适应性试验前检测 12

 8.3 环境适应性试验中检测 12

 8.4 环境适应性试验后检测 12

9 测试数据处理 12

 9.1 故障判定 12

10 试验暂停、中断、恢复和终止 12

 10.1 试验暂停和中断 12

 10.2 试验终止 13

 10.3 试验恢复 13

11 结果评价与报告	13
11.1 合格判定	13
11.2 测试报告	13
附 录 A 测试报告案例	14

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

本文件首次发布。

原子重力仪可靠性测试方法

1 范围

本文件规定了陆基原子重力仪可靠性测试的分类、表征维度、一般要求、分类型技术指标、环境适应性测试、数据处理及结果评价等内容。

本文件适用于陆基原子重力仪的可靠性测试。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2423.1-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验A：低温
GB/T 2423.2-2008 电工电子产品环境试验 第2部分：试验方法 试验B：高温
GB/T 2423.3-2016 环境试验 第2部分：试验方法 试验Cab：恒定湿热试验
GB/T 2423.21-2025 环境试验 第2部分：试验方法 试验M：低气压
GB/T 4857.23-2021 包装 运输包装件基本试验 第23部分：垂直随机振动试验方法
GB/T 6587-2012 电子测量仪器通用规范
GB/T 19531.1-2004 地震台站观测环境技术要求 第1部分：测震
GB/T 19531.3-2004 地震台站观测环境技术要求 第3部分：地壳形变观测
GB/T 20256-2019 国家重力控制测量规范
GB/T 43740-2024 原子重力仪性能要求和测试方法
DB/T 98-2024 绝对重力测量规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

连续运行率 continuous operation rate

原子重力仪有效重力数据记录时间与总测试时间的比值，是衡量台站式连续观测型原子重力仪连续工作能力的重要指标。

3.2

连续运行稳定性 continuous operation rate

表征原子重力仪的长期运行稳定性，具体指在地质结构稳定的台站，剔除潮汐、极移、气压等环境偏置，修正双光子频移、倾斜等系统偏置后，重力示值是否随时间改变，是台站式连续观测型原子重力仪示值是否随时间漂移的核心指标。

3.3

断电复现性 power-off reproducibility

原子重力仪在不移位位置、正常断电重启，并完成系统偏置和环境偏置扣除后，断电前与恢复稳定运行后重力加速度示值的差异程度，是台站式连续观测型原子重力仪的重要指标。

3.4

运输转运复现性 transportation reproducibility

原子重力仪经模拟运输、高低温存储测试，并完成系统偏置和环境偏置扣除后，在同一点位或已知重力差点位的重力测量示值的重复性与准确度，是流动观测型原子重力仪的核心指标。

3.5

部署时间 deployment time

原子重力仪在经模拟运输、高低温存储测试后，从开箱架设到启动重力测量所需的时间花费，是流动观测型原子重力仪的重要指标。

4 可靠性测试核心分类与表征

4.1 按使用工况核心分类

本标准适用于静态原子重力仪。

静态原子重力仪按实际使用工况分为台站式连续观测型和流动观测型两类，测试重点随使用需求差异化设定。

- a) 台站式连续观测型：需长期连续运行，可靠性测试重点为连续运行稳定性和断电复现性；
- b) 流动观测型：需频繁运输周转，可靠性测试重点为运输转运复现性。

4.2 可靠性测试表征维度

原子重力仪性能测试对环境振动水平要求较高，为了合理评估可靠性测试期间的被试设备状态，从功能和性能两方面表征可靠性测试结果：

- a) 功能表征：适用于被试设备通电但处于非安静环境下，如在试验箱中开展湿热、低气压等环境试验期间，仅通过功能指标验证被试设备是否出现故障，这些功能指标可以考虑：激光是否失锁、真空是否维持、原子捕获是否正常等；
- b) 性能表征：适用于被试设备可处于安静环境下的情形，一般在开展环境试验前后执行。

5 测试的一般要求

5.1 可靠性测试环境条件

5.1.1 台站式连续观测型

应满足地基稳固、环境安静的核心要求：

- a) 检测点位有独立、稳定的基础平台，点位环境地噪声水平 $En1 < 1.0 \times 10^{-7}$ m/s（II级环境地噪声水平）；
- b) 室内环境温度 $10^{\circ}\text{C} \sim 30^{\circ}\text{C}$ 、温度抖动 $\leq \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 20%RH~75%RH；
- c) 无影响测试的电磁场干扰源。

5.1.2 流动观测型

应满足地基稳固、环境较安静的核心要求：

- a) 检测点位有稳定的基础平台，点位环境地噪声水平 $En1 < 1.0 \times 10^{-5}$ m/s。
- b) 环境温度 $0^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 、温度抖动 $\leq \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 20%RH~90%RH；
- c) 无影响测试的电磁场干扰源。

5.2 测试设备要求

5.2.1 基础监测与测试设备

应符合以下要求：

- a) 场地温湿度计（温度范围 $-10^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分辨率 0.2°C ；湿度范围 0~100%RH，分辨率 2%RH）；
- b) 振动监测仪（地震计）（频率范围 50Hz~120s，灵敏度 2000V/m/s，动态范围：140dB）；
- c) 气压计（量程 500hPa~1100hPa，分辨率 0.1hPa）。

5.2.2 重力参考设备

应符合以下要求之一：

- a) 重力加速度标准点位：准确度等级 $\leq 10\mu\text{Gal}$ （ $k=2$ ）；

b) 标准绝对重力仪：测量不确定度 $\leq 5\mu\text{Gal}$ ($k=1$)。

注：测试结果中应注明具体的准确度等级或标准设备不确定度数值。

5.3 被试样品要求

应符合以下要求：

- 外观标识完整：面板标有仪器名称、型号、制造厂、出厂编号、电源要求；开关、端口有识别标志，显示界面可展示工作参数；
- 工作状态正常：可显示原子信号、重力测量结果等，数值在厂家说明书范围内；
- 测试前预热：按厂家说明书充分预热；
- 基础信息记录：记录样品型号、出厂编号、设计指标、运行参数（如落体频率、采样频率）等；
- 样品数量：同一型号至少 2 台，新产品研发阶段可缩减至 1 台，需在测试报告中说明。

6 可靠性要求及测试方法

6.1 概述

原子重力仪的可靠性指标根据被试设备的任务剖面，主要包含：

- 台站式连续观测型：连续运行率、连续运行稳定性、断电复现性；
- 流动观测型：运输转运复现性、部署时间。

可靠性指标汇总表如表1所示。可靠性试验应和环境适应性测试交错印证。

表 1 可靠性要求汇总表

序号	试验项目	试验条件	备注
1	连续运行率	连续 7 天数据记录率：100% 连续 15 天数据记录率：不低于 98% 连续 30 天数据记录率：不低于 95% 测试持续时间根据实际情况确定	台站式连续观测型
2	连续运行稳定性	不少于连续 7 天组间标准差：不大于 $5\mu\text{Gal}$ ，且残差总趋势无单调漂移（相关系数绝对值 <0.6 ）	台站式连续观测型
3	断电复现性	不大于 $5\mu\text{Gal}$	台站式连续观测型
4	运输转运复现性	不大于 $10\mu\text{Gal}$	流动观测型
5	部署时间	不长于 2 小时	流动观测型

6.2 连续运行率

6.2.1 测试目的

考核被试设备在无人值守台站环境下的连续重力数据记录能力。

6.2.2 测试方法

- 将被试设备放置在测试点位处安装调试，充分预热后，启动重力加速度测量；
- 将观测数据进行固体潮、海潮负荷、极移、气压等环境因素改正后得到重力加速度观测值，在观测总时长 T 中共获得 n 个有效重力数据， τ 为获取单个有效重力数据的时间。
- 根据如下公式计算被试设备的运行连续率：

$$\eta = \frac{n\tau}{T} \times 100\% \dots\dots\dots (1)$$

式中：

η ——有效重力数据持续记录时间与总测试时间的比值，即为连续运行率。

注：测试期间若有地震影响应予以剔除。

6.3 连续运行稳定性

6.3.1 测试目的

考核被试设备连续运行时是否存在线性漂移。

6.3.2 测试方法

- 将被试设备放置在地质结构稳定的测试点位处并安装调试，充分预热后，启动重力加速度测量；
- 将观测数据进行固体潮、海潮负荷、极移、气压等环境因素改正，系统偏置项扣除后得到重力加速度观测值；
- 根据被试设备的具体性能，将每 10 分钟～30 分钟的重力观测值归为一组取平均值，根据拉依达准则（ 3σ 准则）剔除异常值，记为 $g_i, i=1, 2, 3, \dots, n$ 。
- 根据如下公式计算被试设备的组间标准差：

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

σ ——连续运行稳定性的表征参数。 $\bar{g} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i$ ， n 为观测组数。

注：测试期间若有地震影响应予以剔除。

- 根据如下公式计算重力观测值与观测时间的相关系数：

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})(t_i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (g_i - \bar{g})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}}$$

式中：

t_i 为 g_i 观测时刻， $\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$ 。

6.4 断电复现性

6.4.1 测试目的

考核被试设备在经历断电后重力测值是否连续。

6.4.2 测试方法

- 将被试设备放置在地质结构稳定的测试点位处并安装调试，充分预热后，启动重力加速度测量；
- 将观测数据进行固体潮、海潮负荷、极移、气压等环境因素改正，系统偏置项扣除后得到重力加速度观测值；
- 根据被试设备的具体性能确定连续观测时长，根据拉依达准则（ 3σ 准则）剔除异常值后，该次观测的重力加速度平均值记为 $\tilde{g}_1$ ；
- 将被试设备正常断电并完全冷却；
- 将被试设备重新上电并充分预热稳定后进行重力观测，观测时长与 c) 保持一致，该次观测的重力加速度平均值记为 $\tilde{g}_2$ （可根据需要重新标校参数和系统偏置）；
- 重复 d)～e)，至少进行两次断电操作；
- 根据如下公式计算被试设备的断电复现性：

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{s+1} (\tilde{g}_i - \bar{g})^2}{s}} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

ε ——断电复现性的表征参数。

$\bar{g} = \frac{1}{s+1} \sum_{i=1}^{s+1} \tilde{g}_i$ 。

s ——断电次数。

6.5 运输转运复现性

6.5.1 测试目的

考核被试设备在经历公路运输后重力测值准确度保持能力。

6.5.2 测试方法

- a) 将被试设备放置在地质结构稳定的测试点位处并安装调试，充分预热后，启动重力加速度测量；
- b) 将观测数据进行固体潮、海潮负荷、极移、气压等环境因素改正，系统偏置项扣除后得到重力加速度观测值；
- c) 根据被试设备的具体性能确定连续观测时长，根据拉依达准则（ 3σ 准则）剔除异常值后，该次观测的重力加速度平均值记为 $\hat{g}_1$ ；
- d) 将被试设备正常断电并完全冷却后装箱，根据 7.7 开展模拟振动测试；
- e) 模拟振动测试结束后，将被试设备开箱并部署在原重力测点或点差已知的同等级重力测点上，重新上电并充分预热稳定后进行重力观测，观测时长与 c) 保持一致，该次观测的重力加速度平均值记为 $\hat{g}_2$ （可根据需要重新标校参数和系统偏置）；
- f) 根据具体测试需要重复 d) ~e)；
- g) 根据如下公式计算被试设备的重复性：

$$\gamma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{r+1} (\hat{g}_i - \bar{g})^2}{r}} \dots\dots\dots (4)$$

式中：

若在同一测点测量，则 $\bar{g} = \frac{1}{r+1} \sum_{i=1}^{r+1} \hat{g}_i$ ；若在不同测点测量，则 $\bar{g} = \frac{1}{r+1} \sum_{i=1}^{r+1} (\hat{g}_i - g_0^i)$ ；r为模拟振动测试次数。

同时，应给出被试设备在测点的示值误差 δ 作为准确度指标， γ 和 δ 共同表征被试设备的运输转运复现性。

6.6 部署时间

6.6.1 测试目的

考核被试设备的部署便捷性能力。

6.6.2 测试方法

记录被试设备从开箱到调校完毕、可输出重力观测值的总时间（需要时可详化每个阶段的时间）。

7 环境适应性要求及测试方法

7.1 概述

环境适应性用于模拟原子重力仪可能经历的工作、存储、运输环境。环境试验后，被试设备应开展全套可靠性测试以检验被试设备的性能是否保持。

根据使用环境，原子重力仪的环境适应性测试主要包含：高低温工作、高低温存储、湿热、低气压、振动试验，详见表2

表 2 环境适应性要求汇总表

序号	试验项目	试验条件	备注
1	低温工作	温度：10℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 I 组要求。	台站式连续观测型
		温度：-10℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 II 组要求并考虑低温野外环境。	流动观测型
2	低温贮存	温度：-40℃	/

序号	试验项目	试验条件	备注
		符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 I、II 组要求。	
3	高温工作	温度：30℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 I 组要求。	台站式连续观测型
		温度：40℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 II 组要求。	流动观测型
4	高温贮存	温度：60℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 I、II 组要求。	/
5	湿热	相对湿度：20%~90% 温度：30℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 I 组要求并考虑高湿度台站环境。	台站式连续观测型
		相对湿度：20%~90% 温度：40℃ 符合 GB/T 6587-2012 中 4.7.1 条关于环境组别 II 组要求。	流动观测型
6	低气压	气压：54kPa 符合 GB/T 2423.21-2025 中 5.1.2 条 5000m 海拔高度的要求。	/
7	振动	符合 GB/T 4857.23-2021 中 D.1 中关于 2 级公路运输的要求。	/

7.2 低温工作

7.2.1 测试目的

考核被试设备在低温环境条件下的工作适应性。

7.2.2 测试条件

试验箱测试允差：温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

根据仪器使用工况分为：

- 台站式连续观测型：温度 10°C ；
- 流动观测型：温度 -10°C 。

7.2.3 测试方法

- 将被试设备安放在试验箱内，上电预热；
- 被试设备达到温度稳定后，按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；
- 以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率将温箱温度调节至 10°C （ -10°C ， 0°C ），保持 4h；
- 保持 4h 后，按 8.3 的要求对被试设备进行试验中的功能测试，记录检测结果；
- 以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率将温箱温度调节至室温，保持 4h；
- 按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

7.3 低温存储

7.3.1 测试目的

考核被试设备在低温环境条件下贮存的适应性。

7.3.2 测试条件

试验箱测试允差：温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$

温度 -40°C ，带外包装

7.3.3 测试方法

- 将被试设备按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；

- b) 将被试设备断电自然冷却后装箱，放置于试验箱内；
- c) 以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率将温箱温度调节至 -40°C ，保持 4h；
- d) 保持结束后，以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率将温箱温度调节至室温，保持 4h；
- e) 按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

7.4 高温工作

7.4.1 测试目的

考核被试设备在高温环境条件下的工作适应性。

7.4.2 测试条件

- a) 试验箱测试允差：温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- b) 根据仪器使用工况分为：
 - 1) 台站式连续观测型： 30°C ；
 - 2) 流动观测型： 40°C 。

7.4.3 测试方法

- a) 将被试设备安放在试验箱内，上电预热；
- b) 被试设备达到温度稳定后，按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；
- c) 以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率将温箱温度调节至 30°C (40°C)，保持 4h；
- d) 保持 4h 后，按 8.3 的要求对被试设备进行试验中的功能测试，记录检测结果；
- e) 以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率将温箱温度调节至室温，保持 4h；
- f) 按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

7.5 高温存储

7.5.1 测试目的

考核被试设备在高温环境条件下贮存的适应性。

7.5.2 测试条件

试验箱测试允差：温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。
温度 60°C ，带外包装。

7.5.3 测试方法

- a) 将被试设备按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；
- b) 将被试设备断电自然冷却后装箱，放置于试验箱内；
- c) 以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的升温速率将温箱温度调节至 60°C ，保持 4h；
- d) 保持结束后，以不大于 $3^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 的降温速率将温箱温度调节至室温，保持 4h；
- e) 按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

7.6 湿热试验

7.6.1 测试目的

考核被试设备在湿热环境条件下的适应性。

7.6.2 测试条件

- a) 试验箱测试允差：温度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$
- b) 根据仪器使用工况分为：
 - 1) 台站式连续观测型：20%RH~90%RH， 30°C ；
 - 2) 流动观测型：20%RH~90%RH， 40°C 。

7.6.3 测试方法

- a) 将被试设备安放在试验箱内，上电预热；
- b) 被试设备达到温度稳定后，按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；
- c) 将试验箱内的温度调节为 30℃（40℃），相对湿度调整至 70%；
- d) 在 30℃（40℃）、70%RH 温湿度下保持 12h；
- e) 在 1h 内将试验箱内的相对湿度调整至 90%，温度保持 30℃（40℃）；
- f) 在 30℃（40℃）、90%RH 温湿度下保持 10h。
- g) 在 1h 内将试验箱内的相对湿度调整至 70%；
- h) 步骤 c)～g) 为 1 次循环，重复该循环 5 次；
- i) 在第 3 循环和第 5 循环的温度湿度稳定期间，按 8.3 的要求对被试设备进行试验中的功能测试，记录检测结果；
- j) 循环结束后，调节温度湿度条件使其恢复到标准大气条件下；
- k) 按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

7.7 低气压试验

7.7.1 测试目的

考核被试设备在低气压环境条件下的适应性。

7.7.2 测试条件

低气压条件为 54kPa，对应海拔高度 5000m。

7.7.3 测试方法

- a) 将被试设备安放在试验箱内，上电预热；
- b) 被试设备达到温度稳定后，按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；
- c) 将试验箱内的气压以不超过 600m/min 的速度调节至海拔 5000m（54kPa），保持 1h，并按 8.3 的要求对被试设备进行一次试验中检测；
- d) 保持 1h 后，以不超过 600m/min 的速度调节气压条件使其恢复到标准大气条件下；
- e) 按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

7.8 振动测试

7.8.1 测试目的

考核被试品是否能承受预期的振动应力以及保证在实际公路运输振动环境下保持原有功能性能的能力。

7.8.2 测试条件

依据 GBT 4857.23-2021 中 D.1 中关于 2 级公路运输的要求进行试验。带外包装。

7.8.3 测试步骤

- a) 将被试设备按 8.2 的要求进行试验前的功能测试，记录检测结果；
- b) 将被试设备放置于包装箱中，再安装在振动台上，按正常的安装方式借助夹具紧固于试验设备台面上；
- c) 根据 GBT 4857.23-2021 中 D.1 中关于 2 级公路运输的要求，在垂直轴向进行振动试验，试验时间 60min，被试设备可按照分系统（如控制系统、探测系统）分别进行振动试验；
- d) 试验结束后，在标准大气条件下按 8.4 的要求对被试设备进行试验后检测，记录检测结果。

8 测试要求

8.1 检测项目

根据环境适应性试验的不同阶段，检测项目存在差异。按环境适应性试验前检测、试验中检测、试验后检测项目分别描述。

8.2 环境适应性试验前检测

在进行环境适应性试验前，在实验室安静环境下，对被试品所有所有相关可靠性指标[如台式：连续运行率（7天）、连续运行稳定性、断电复现性；流动式：运输转运复现性、部署时间]进行检测，并记录检测数据，作为环境适应性试验开始前性能指标正常的判据。

8.3 环境适应性试验中检测

试验中检测为在环境应力下的检测。环境适应性试验进行时不允许将被试设备从试验箱或振动台中取出，导致被试设备无法开展性能检测。为了表征被试设备在环境适应性试验期间的状态，使用功能检测替代性能检测。功能指标可以根据被试设备具体情况选择合适的参数来评判，如激光是否失锁、真空是否维持、原子捕获是否正常等。

8.4 环境适应性试验后检测

在完成环境适应性试验后，应对被试设备进行性能检测。性能检测应包含被试设备使用工况下的所有可靠性指标。在被试设备质量可靠的前提下，可以在所有环境适应性试验结束后进行一次性能检测。

9 测试数据处理

9.1 故障判定

原子重力仪在可靠性和环境适应性测试中，出现以下任一情况，即判定为1次故障：

- 环境适应性测试前，任一可靠性指标未达要求；
- 在大于7天的连续运行率指标测试时，因仪器本身原因导致数据记录中断；
- 环境适应性测试试验中，功能指标异常；
- 环境适应性测试后，任一可靠性指标未达要求。

10 试验暂停、中断、恢复和终止

10.1 试验暂停和中断

10.1.1 试验暂停和中断条件

测试过程中出现技术故障或安全隐患，应暂停试验，待排除后可继续实施。出现以下情形之一的，应中断试验：

- 出现短期内难以排除的故障；
- 出现重大安全隐患；
- 环境条件、保障条件等不满足试验要求；
- 试验结果已判定可靠性指标达不到要求；
- 出现其它不可抗拒的情况。

10.1.2 非被试设备自身原因引起的中断处理

因电网停电、试验箱故障等非仪器本身原因导致测试无法进行，可暂停试验；暂停期间不累计运行时间，故障排除后按原条件恢复，数据连续计算。

10.1.3 被试设备故障引起的中断处理

- 当确认被试设备发生故障，导致试验暂停、中断或终止时，应将故障信息记入故障报告表。
- 对于出现的故障，应做故障分析，明确其故障机理，并根据故障机理确定合理的改进措施。将故障分析的结果填入故障分析报告表，将采取的纠正措施填入故障纠正措施表。
- 若发生的故障，经分析认为采取的措施不影响前期试验结果，经承试方同意可继续试验，发生故障的测试项目应重做；若采取的纠正措施影响前期测试结果，则受影响的测试项目应重做。

10.2 试验终止

试验过程中出现下列情形之一的，承试方可提出试验终止的意见建议。

- a) 对已验证的可靠性指标不满足要求，即使增加试验样本也不会改变试验结果和结论；
- b) 出现重大技术问题，设备研制方无法给出有效解决措施导致试验主要目标无法实现。

10.3 试验恢复

10.3.1 中断的恢复

对于非被试设备自身原因引起中断的情况，若故障已经排除并经验证确认问题已解决，承试方完成了试验中断对测试有效性影响的分析，可恢复测试。

对于被试设备故障引起中断的情况，设备研制方对试验中暴露的问题采取了改进措施，经承试方和设备研制方共同试验验证，确认问题已整改归零，由原承试方恢复试验，继续实施试验。

10.3.2 终止的恢复

设备研制方对试验中暴露的问题采取了改进措施，经承试方和设备研制方共同试验验证，确认问题已解决，设备研制方可向承试方提出恢复或重新试验的申请，由原承试方实施试验。

11 结果评价与报告

11.1 合格判定

11.1.1 核心原则

- a) 被试设备在接收时，应进行一次完整的可靠性指标测试；
- b) 可靠性测试通过后，开展环境适应性测试，并根据约定的功能指标进行试验中检测；
- c) 环境适应性测试后，重新开展可靠性指标测试。

被试设备接收后的单项可靠性指标不达标，即判定仪器可靠性不合格，在故障解除前无需进入环境适应性测试；环境适应性测试结束后，被试设备可靠性指标仍需满足对应类型要求。

11.2 测试报告

可参考附录A，应包含：

- a) 测试对象信息：型号、出厂编号、生产商、关键部件参数等；
- b) 测试基础信息：测试时间、地点、环境参数、参考设备信息、样品数量等；
- c) 测试过程记录：分类型测试步骤、环境适应性测试过程、试验暂停 / 中断 / 恢复情况等；
- d) 测试原始数据：重力测量数据、原子信号记录、环境参数监测数据等；
- e) 指标计算结果：各可靠性指标结果；
- f) 故障记录：故障次数、发生时间、现象、原因及处理方式；
- g) 结论与建议：可靠性合格 / 不合格判定、核心指标达标情况、仪器改进建议等；
- h) 其他说明：新产品研发阶段样品数量缩减说明、不可抗力因素影响等。

附 录 A
(资料性)
测试报告案例

报告编号：

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

原子重力仪可靠性测试报告
[20] 第 XXXX号

产	品	名	称：	
产	品	型	号	
委	托	单	位：	
测	试	单	位：	
委	托	日	期：	年 月 日
测	试	日	期：	年 月 日

原子重力仪可靠性检测报告

申请方	名称					
	地址					
	负责人		电话		传真	
	联系人		电话		邮 政 编 码	
	电 子 邮 箱					
评价机构	机 构 名 称					
	地址					
	负责人		电话		传真	
	联系人		电话		邮 政 编 码	
	电 子 邮 箱					
一、产品信息						
(包括但不限于产品名称、型号、序列号等内容)						
二、测试条件						
三、测试结果						
四、结论与建议						

五、其他需要说明的事项
（其他需要说明的事项）
