



中华人民共和国国家标准化指导性技术文件

GB/Z XXXXX—XXXX

原子重力仪质量检测规程

Quality inspection specification for atomic gravimeters

（征求意见稿）

（本草案完成时间：2026.7.15）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX – XX – XX 发布

XXXX – XX – XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

前 言

本文件为规范类指导性技术文件。

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。

本文件由全国量子技术标准化技术委员会（SAC/TC 578）归口。

本文件起草单位：合肥国家实验室、中国科学技术大学、中国科学院精密测量科学与技术创新研究院、华中科技大学、浙江工业大学、浙江大学、中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所、中国计量科学研究院、浙江省质量科学研究院、济南量子技术研究院、中国标准化研究院、江苏省计量科学研究院、长沙量子测量产业技术研究院有限公司、中电信量子信息科技集团有限公司。

本文件主要起草人：陈涿侃、陈帅、王谨、詹明生、仲嘉琪、胡忠坤、邓小兵、吴彬、王凯楠、王宇、庄伟、董翔宇、陈元杰、李典蓉、王超凡、韩冰、赵品彰、王亚宁。

引 言

原子重力仪是一种新型的绝对重力测量仪器，在准确度和稳定性方面已经接近或部分超过传统激光干涉重力仪的最好水平，在地球科学研究、地震监测预报、大地测量、地质调查、资源勘探、和国防建设等领域的应用也正逐步开展。为推进原子重力仪的研制和应用，进一步贯彻落实《质量强国建设纲要》部署要求，提升原子重力仪产业链、供应链韧性和安全水平，保证原子重力仪产品的质量，确保原子重力仪的测量精度、可靠性和安全性，以及提高测量数据的可比性和一致性，规范原子重力仪质量检测程序，特制定本规程。

原子重力仪质量检测规程

1 范围

本文件描述了原子重力仪的质量检测规范和方法，包括基本要求、工作流程、检测内容与方法、质量评定规则、检测报告编制等内容。

本文件适用于原子重力仪和仪器附件的质量检测，以及原子重力仪检测机构的检测条件和能力建设。

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 4793.1-2007 测量、控制和实验室用电气设备的安全要求 第1部分：通用要求

GB 12327-2022 海道测量规范

GB/T 6587-2012 电子测量仪器通用规范

GB/T 7247.1-2024 激光产品的安全 第1部分：设备分类和要求

GB/T 20256-2019 国家重力控制测量规范

GB/T 34065-2017 分析仪器的安全要求

GB/T 40219-2021 拉曼光谱仪通用规范

GB/T 43740-2024 原子重力仪性能要求和测试方法

3 术语和定义

GB/T 43740-2024界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

静态型原子重力仪 *statically measurable atom gravimeter*

在静置不动状态下工作的原子重力仪。

注：静态型原子重力仪可分为台站式原子重力仪、流动式原子重力仪两小类。台站式原子重力仪长期在一处固定的台站工作。流动式原子重力仪可在不同的测量地点工作，具有较好的环境适应性。

3.2

动态型原子重力仪 *dynamically measurable atom gravimeter*

在连续移动状态下工作的原子重力仪。

注：动态型原子重力仪的载体可为陆地车辆、水面或水下航行器、航空器等。动态型原子重力仪具备极好的环境适应性和较快的重复频率。

3.3

外符合精度 *external consistency accuracy*

表征原子重力仪测量结果可信度与准确性的非负参数。

注：以外部提供的独立参考值为比对基准，反映仪器或系统观测值与参考值之间的偏离程度，一般适于动态测量条件，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）。

4 检测机构要求

4.1 基本责任与义务

原子重力仪质量检测机构的责任与义务如下：

- 对用户提交的档案、资料进行保密管理；
- 对用户的知识产权有义务提供保护；

c) 对用户的其他合法权益提供保护。

4.2 检测体系

4.2.1 检测控制平台

原子重力仪质量检测机构应具备质量检测流水作业硬件体系，制定完善标准的质量检测流程，配备与流水检测作业相匹配的软件平台。

4.2.2 检测场地

4.2.2.1 安静台站/实验室环境

原子重力仪质量检测机构应配备用于静态型原子重力仪检测的安静环境，并满足4.7.1条件。对于静态型原子重力仪的流动检测要求，可配备振动台、根据车载运输的具体要求进行振动模拟测试。

4.2.2.2 动态模拟实验室

原子重力仪质量检测机构应配备用于动态型原子重力仪开展陆地模拟动态测试的环境，需配备六自由度模拟摇摆台，俯仰范围 $\geq \pm 15^\circ$ 、横摇范围 $\geq \pm 15^\circ$ 。

4.2.2.3 真实应用场景

针对动态型原子重力仪在车载、船载、机载等环境下的质量评定，应由承制方提出需求，承试方可根据实际情况承接。一般而言，真实应用场景应由承制方联合用户构建。

4.3 检测人员

原子重力仪质量检测机构应配备具有专业水准、熟练掌握质量检测流水作业规程的检测人员。

4.4 检验设备

承制方可使用自己的或质量监督机构批准的适用于本文件规定的检验要求的任何检验设备。测试用的标准仪器应按有关规定定期进行校准和检定。

原子重力仪质量检测所需获得计量溯源的检测设备要求如下：

- a) 温度计：温度范围 $-20^\circ\text{C}\sim 50^\circ\text{C}$ ，分辨力优于 0.2°C ；
- b) 湿度计：湿度范围 $0\sim 100\%\text{RH}$ ，分辨力优于 $2\%\text{RH}$ ；
- c) 地震计：频率范围 $50\text{Hz}\sim 120\text{s}$ ，灵敏度 2000V/m/s ，动态范围优于 140dB ；
- d) 气压计：量程 $500\text{hPa}\sim 1100\text{hPa}$ ，分辨力 0.1hPa ；
- e) 绝对重力仪：测量不确定度（ $k=1$ ） $\leq 5\ \mu\text{Gal}$ ；
- f) 相对重力仪：分辨力优于 $1\mu\text{Gal}$ ，重复性标准差 $\leq 5\ \mu\text{Gal}$ ，漂移率 $\leq 3\ \mu\text{Gal/h}$ 。

4.5 基本环境条件

原子重力仪检测地点应配备气压、温度、湿度等辅助观测系统；应配备可实现（准）实时传输的通讯系统；配备稳定的双路市电供应系统和4小时以上的应急电源，基本环境条件应满足表1中所列的参数要求。

表1 原子重力仪检测的基本环境条件要求

环境要素	参数范围
环境温度	$18\ ^\circ\text{C}\sim 30\ ^\circ\text{C}$
相对湿度	$\leq 90\%$
大气压力	$60\ \text{kPa}\sim 106\ \text{kPa}$
直流(DC)电源	$10.2\ \text{V}\sim 13.8\ \text{V}$
交流(AC)电源	$198\ \text{V}\sim 242\ \text{V}, 47.5\ \text{Hz}\sim 52.5\ \text{Hz}$ $99\ \text{V}\sim 121\ \text{V}, 57.5\ \text{Hz}\sim 62.5\ \text{Hz}$

4.6 振动环境条件

原子重力仪检测地点应具备符合通用振动标准（参见附录A）中VC-A、VC-B、VC-C、VC-D的不同级别振动环境条件。

4.7 测试环境条件

4.7.1 静态型原子重力仪

4.7.1.1 台站式原子重力仪

台站式原子重力仪的测试环境条件要求如表2所列。若承制方有测试环境输入要求，承试方应评估可行性并定制测试环境条件。

表2 台站式原子重力仪测试环境条件

环境参数	参数范围
振动噪声	优于VC-C标准（参见附录A）
温度范围	10℃～30℃
温度波动	< ±2℃
相对湿度范围	40%～70%；
电磁场干扰源	无

4.7.1.2 流动式原子重力仪

流动式原子重力仪的测试环境条件要求如表3所列。若承制方有测试环境输入要求，承试方应评估可行性并定制测试环境条件。

表3 流动式原子重力仪测试环境条件

环境参数	参数范围
振动噪声	优于VC-A标准（参见附录A）
温度范围	-18℃～38℃
相对湿度范围	10%～80%
电磁场干扰源	无
车载搬运距离	≥2km

4.7.2 动态型原子重力仪

一般由承制方联合用户自行实施；若承制方向承试方输入测试条件，承试方评估可行性后确定是否承试。

5 被检原子重力仪要求

5.1 产品技术资料要求

原子重力仪制造商或用户，应提供待检原子重力仪与检测特性相关的技术资料。

5.2 安全要求

5.2.1 用电安全

原子重力仪应符合GB/T 34065-2017的防电击测试要求。

5.2.2 激光安全

原子重力仪制造商应提供关于激光器使用安全的说明，并在原子重力仪的激光器部件中适当的位置提供激光使用安全警示标志，警示标志应符合GB 7247.1-2012的一般要求。

5.3 电磁兼容性

被检原子重力仪应符合GB/T 17626系列电磁兼容（EMC）标准，通过国家市场监督管理总局认定的电磁兼容检测机构的检测，具备电磁兼容检测合格证明。

5.4 电源适配性

在下列任何电压和频率组合情况下，仪器的性能特性不应受到影响。本文件以电源电压220 V(或110 V)，电源频率50 Hz (或 60 Hz)为额定值，其余供电电源参照执行。

- a) 稳态电压允许范围（±10%）：198 V～242 V（或 109 V～121 V）；
- b) 频率允许范围（±5%）：47.5 Hz～52.5 Hz（或 57～63 Hz）。

5.5 性能要求

原子重力仪的性能指标应满足表4中的基本要求（参考GB/T 43740-2024）。

表4 原子重力仪性能指标要求

序号	性能	参数指标		
		静态型		动态型 (载体移动速度大于0.1 m/s)
		台站式	流动式	
1	测量不确定度 (k=1)	≤10 μGal	≤100 μGal	-
2	短期灵敏度	≤100 μGal/√Hz	≤1 mGal/√Hz	≤20 mGal/√Hz （系泊状态）
3	长期稳定度 (测量时间不短于1000 s)	≤3 μGal	≤30 μGal	-
4	测量重复性	≤5 μGal	≤50 μGal	-
5	分辨力	≤3 μGal	≤30 μGal	-
6	内符合精度	-		≤2 mGal
7	外符合精度	-		≤2 mGal
8	交叉点偏差	-		≤3 mGal
9	动态工作范围	-		≥1.5 m/s ²
注： 1 μGal =10 ⁻⁸ m/s ² ; 1 mGal =10 ⁻⁵ m/s ²				

5.6 功能要求

5.6.1 测量显示功能

原子重力仪应能在正常运行状态下，自动感知重力加速度的改变并动态显示测量结果。

5.6.2 运输转运功能

原子重力仪应具备可方便拆卸装箱运输及运输过程中的抗震能力。

5.6.3 时钟同步功能

原子重力仪可通过GNSS接收机和时间网络服务器自动校时，或可接收人工指令校时。

6 质量检测流程

原子重力仪的质量检测按照图1所示的流程开展。

- a) 由原子重力仪用户（或生厂商）向检测机构提出检测申请。
- b) 检测机构接收到原子重力仪用户的检测申请后，与用户联系、了解其检验需求。
- c) 用户提交被检原子重力仪及相关的产品技术资料。
- d) 检测机构对用户提交的产品技术资料进行审查。资料不合格、不完整的，通知用户补充完善。
- e) 对原子重力进行外观检查，检查方法见 7.1 节。
- f) 对原子重力安全性检查，检查方法见 7.2.1 节。安全性检查不合格者，检查终止。
- g) 检测机构指派专人制定检测方案。
- h) 检测机构对检测方案进行评审。评审不通过时，重新修订，直至通过为止。
- i) 按照检测方案对原子重力仪进行质量检测。
- j) 用户缴纳检测费、签订检测合同。
- k) 检测机构对原子重力进行基本项检查，检查方法见 7.2 节。
- l) 检测机构对原子重力进行功能检查，检查方法见 7.3 节。
- m) 检测机构对原子重力进行主要性能检查，检查方法见 6.4 节、6.5 节。
- n) 检测机构对用户现场进行考察（必要时）。
- o) 分析测试数据，判断仪器是否合格。
- p) 对检测不合格的仪器，出具质量检测报告。
- q) 对质量检测报告进行核实认定，不合格者，终止检测。
- r) 质量检测报告核实认定合格者，批准签发质量合格证书。

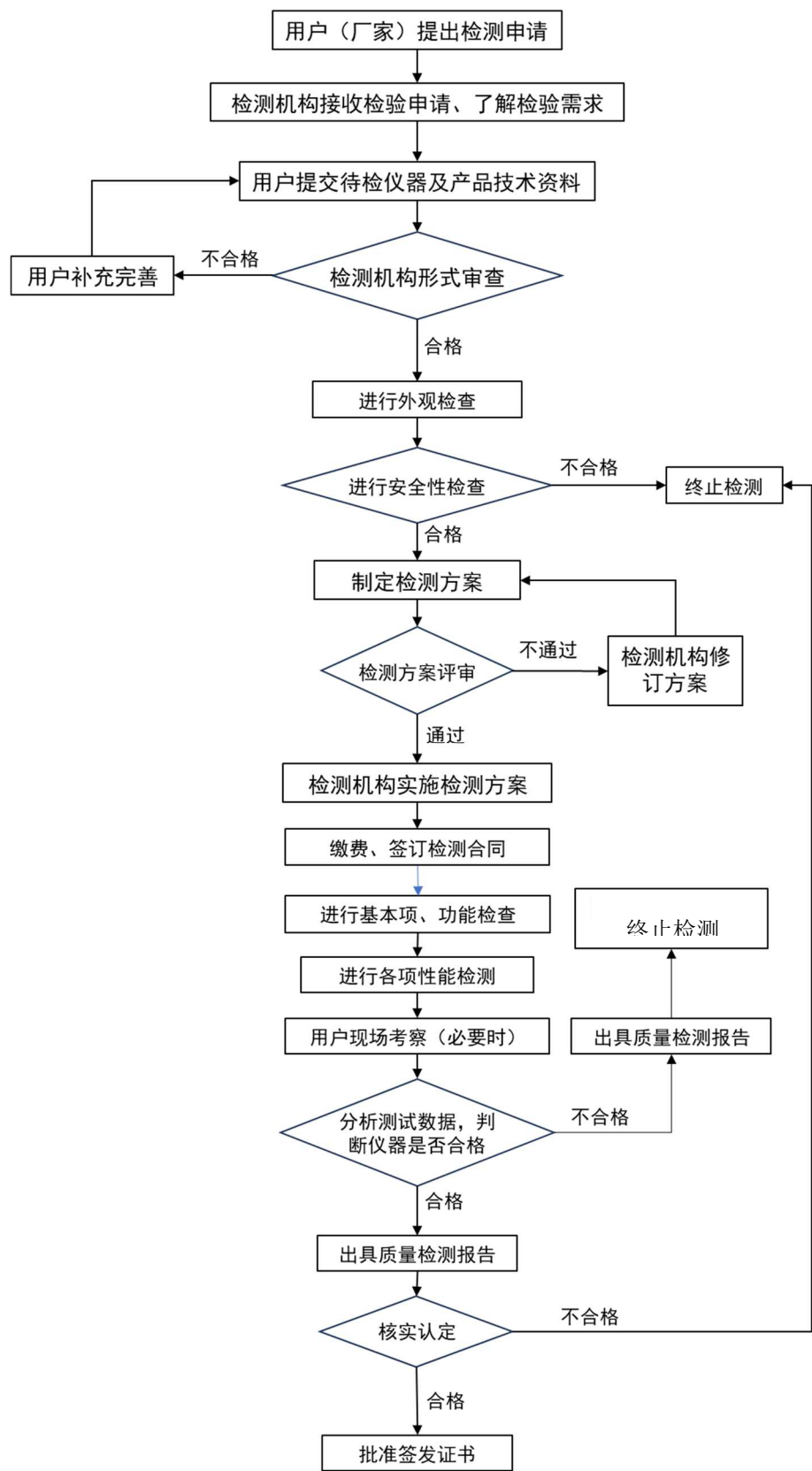


图1 原子重力仪质量检测流程图

7.1 外观检查

检查方法：目测和手感。
合格标准：
a) 原子重力仪外观完好无损；
b) 所需附件应配套齐全；
c) 铭牌上的型号、编号等标记清晰可辨。
以上3项目中有任一项不符合时，视为外观检查不合格。

7.2 基本项检查

7.2.1 安全检测

7.2.1.1 用电安全

按照GB/T 34065-2017第6章中的防电击测试要求进行检测。

7.2.1.2 激光安全

查看原子重力仪制造商应提供的关于激光器使用安全的说明，对照GB 7247.1-2012的一般要求，检查原子重力仪激光器部件中的激光使用安全警示标志是否符合要求。
激光安全标志范例如图2所示。



图2 激光安全标志范例

7.2.2 电磁兼容检测

查看原子重力仪制造商提供的由国家市场监督管理总局认定的电磁兼容检测机构出具的电磁兼容检测合格证明，无电磁兼容检测合格证明则视为电磁兼容性检测不合格。

7.2.3 环境适应性检测

原子重力仪在正常运行状态（原则上要求能输出重力测值，若受测量环境振动限制导致无法输出重力测值，应以仪器的某中间状态参数，如原子信号等，作为仪器状态表征）下，按照4.7 节中不同仪器类别的测试条件要求，改变环境温度与湿度，检查原子重力仪的工作状态。若能正常工作，则判定为环境适应性检测合格，否则为不合格。

7.2.4 电源适配性试验

7.2.4.1 概述

原子重力仪生产商应在产品书名说明书中给出电源适配性试验的自评定报告。电源适配性试验按照7.2.4.2~7.2.4.3要求进行。

7.2.4.2 试验要求

由电网电源供电的仪器在下列条件下应能正常工作：

- a) 电源频率：50(1±5%) Hz 或 60(1±5%) Hz；
- b) 电源电压：220(1±10%) V 或 110(1±10%) V。

对电源频率及电源电压有特殊要求的仪器，其频率，电压的工作范围、试验方法可在产品标准中另行规定。

7.2.4.3 试验方法

在工作温度下，按以下步骤进行试验。

- a) 将可调电源频率置于 50 Hz 或 60 Hz，输出电压置于 220 V 或 110 V，测试仪器的性能特性。
- b) 将可调电源输出频率保持在 50 Hz，将电压分别置于 198V 和 242 V，并在这两个数值上各自至少保持 15 min 后，分别测试仪器的性能特性（或将可调电源输出频率保持在 60 Hz，将电压分别置于 109 V 和 121 V，并在这两个数值上各自至少保持 15 min 后，分别测试仪器的性能特性）。
- c) 将可调电源输出的电压保持在 220 V，将频率分别置于 47.5 Hz 和 52.5 Hz，并在这两个数值上各自至少保持 15 min 后，分别测试仪器的性能特性（或将可调电源输出的电压保持在 110 V，将频率分别置于 57 Hz 和 63 Hz，并在这两个数值上各自至少保持 15 min 后，分别测试仪器的性能特性）。

7.3 功能检测

7.3.1 测量显示功能

检测原子重力仪在正常运行状态下，是否能自动感知重力加速度的改变并动态显示测量结果。

7.3.2 运输转运功能

检测原子重力仪是否具备可方便拆卸装箱运输及运输过程中的抗震能力。

7.3.3 钟同步功能

检查原子重力仪在正常运行状态下，是否能通过GNSS接收机和时间网络服务器自动校时，或可以接收人工指令校时。

7.4 静态型原子重力仪性能特性检测

7.4.1 短期灵敏度检测

按照GB/T 43740-2024规定的程序和方法，细化检测步骤如下。

- a) 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；
- b) 对测量点位进行不少于 5 次的重力加速度测量，每次连续测量 1500 s 以上；
- c) 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；
- d) 按照公式（1）计算测量结果差值的阿伦标准偏差 $\sigma_g(\tau)$ ；

$$\sigma_g(\tau) = \sqrt{\frac{1}{2(N-1)} \sum_j (g_x^{j+1}(\tau) - g_x^j(\tau))^2} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

- τ ——取样时间；
- $g_x(\tau)$ —— τ 时间内的测量结果的平均值；
- j ——按照 τ 时间分组后的组号；
- N ——测量结果的总分组数。

- e) 对阿伦标准偏差数据线性较好的区段、选择连续不少于 5 点进行线性拟合；
- f) 根据阿伦标准偏差线性拟合得到的斜率 κ ，确定原子重力仪短期灵敏度，单位为米每二次方秒赫兹平方根 $[\text{m}/(\text{s}^2 \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$ 。

7.4.2 长期稳定度检测

按照GB/T 43740-2024 规定的程序和方法，细化检测步骤如下。

- a) 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；
- b) 连续测量重力加速度值，连续测量时间不小于 20000 s；
- c) 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，记为 g_x^j ；
- d) 按照公式（1）计算测量结果差值的阿伦标准偏差 $\sigma_g(\tau)$ ；
- e) 对阿伦标准偏差数据线性较好的区段、选择连续不少于 5 点进行线性拟合；
- f) 根据阿伦标准偏差线性拟合得到的斜率 κ ，确定原子重力仪短期灵敏度，单位为米每二次方秒赫兹平方根 $[\text{m}/(\text{s}^2 \cdot \sqrt{\text{Hz}})]$ 。

分别给出 $\tau = 1000 \text{ s}$ 、 10000 s 对应的拟合值为长期稳定度，阿伦偏差最低点对应的拟合值为最佳稳定度；稳定度需要标注对应的时间。

7.4.3 测量重复性检测

按照GB/T 43740-2024规定的程序和方法进行检测，细化检测步骤如下。

- a) 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；
- b) 连续测量时间不短于 12.5 小时，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) 该次观测的重力加速度平均值记为 1 个绝对重力值；
- d) 将原子重力仪关机 1 小时以上；
- e) 重复步骤 a) ~ d) 不少于 2 次，得到测量点位的 N 个绝对重力值 g_x^j ；
- f) 按照公式（2）计算得到这 N 次测量值的标准差：

$$R = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_j (g_x^j - \frac{1}{N} \sum_i g_x^i)^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

R ——测量重复性，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）；

N ——测量次数；

g_x^j ——第 j 次测量得到的聚堆重力值，单位为米每二次方秒（ m/s^2 ）。

7.4.4 分辨力检测

7.4.4.1 概述

按照GB/T 43740-2024规定的程序和方法，对原子重力仪的分辨力检测进行步骤细化。采用重力梯度法、潮汐检测法2种方法之一进行检测。

7.4.4.2 重力梯度法

- a) 用相对重力仪（如 CG-6 型重力仪）测量重力标准点位的重力梯度值，使用二阶拟合得到梯度换算公式；
- b) 将原子重力仪放置在该重力标准点位进行连续重力观测，观测时间取决于原子重力仪性能，一般应长于达到其分辨力极限所需测量时间。
- c) 测量数据进行潮汐、气压、极移等环境因素修正后，每 τ 时段（ τ 取阿伦标准差最低点对应的时间）的观测数据归为一组，记录其平均值 x_a ；

- d) 承制方提供分辨力指标预估值，承试方根据二阶梯度换算公式计算得到原子重力仪需抬高高度 h 后，重复上述观测，得到对应的 y_a ；
- e) 计算抬高前后两组测量值的差值 $\Delta g_m = |x_a - y_a|$ 和标准差 σ_m ；
- f) 计算抬高高度 h 后的点位重力加速度值改变量 Δg_c 和不确定度 δg_c ；
- g) 若 $\Delta g_m > 2\max(\sigma_m)$ ，则需进一步细化抬升高度，重复以上步骤，直到 $\Delta g_m = 2\max(\sigma_m)$ 或由承制方与承试方商议决定；
- h) Δg_c 即为该原子重力仪的分辨力，不确定度为 δg_c 。

7.4.4.3 潮汐检测法

- a) 将原子重力仪安放在指定测量点位上，安装调试，充分预热后启动原子重力仪进行连续观测；
- b) 将测量数据进行气压、极移等环境因素修正（无需潮汐改正）后，每半小时的重力观测数据记为 1 组，平均值为 R_i ，共进行不少于 10 组的测量， $i = 1, 2, \dots, n$ ($n \geq 10$)
- c) 对应每组重力观测值 R_i 同一时刻的固体潮理论值，记为 T_i ， $i = 1, 2, \dots, n$ ($n \geq 10$)。观测值应随固体潮理论值同步递增或者递减。
- d) 计算重力仪相邻两组测量值的差值 $\Delta R_m = R_{i+1} - R_i$ ，对应的标准差为 σ_m ；计算固体潮相邻两组理论值的差值 ΔT_m ，对应的不确定度 γ_m ，比较 ΔR_m 和 ΔT_m ，两者应在误差范围内吻合。
- e) 当 $\Delta R_m = 2\sigma_m$ 时，对应的 ΔT_m 为该原子重力仪的分辨力；若整个测量时段 $\Delta R_m > 2\sigma_m$ ，则选择潮汐变化相对更小的时段，重复以上步骤。

7.4.5 测量不确定度的核定

原子重力仪测量不确定度的核定按照以下步骤进行：

- a) 原子重力仪厂家提供仪器不确定度的评定数据。
- b) 原子重力仪不确定度的评定按照 GB/T 43740-2024 规定的程序和方法进行，先分别进行原子重力仪不确定度的 A 类评定、B 类评定，再得到合成测量不确定度 ($k=1$)。其中 A 类不确定度计算方法如下所述：

分别按照公式 (3) 和 (4) 计算测量值 x_i 的平均值 x_e 以及原子重力仪的 A 类不确定度 u_A ：

$$x_e = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3)$$

式中：

x_e ——测量值 x_i 的测量平均值；

x_i ——每 τ 时段的测量平均值 (τ 取阿伦标准差的最低点)；

n ——测量次数。

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_e)^2}{n-1}} \quad (4)$$

u_A ——原子重力仪 A 类不确定度 (x_i 的标准差)

B 类评定按照 GB/T 43740-2024 进行。

- c) 检测机构按照 GB/T 43740-2024 规定的程序和方法，利用重力加速度标准装置或重力加速度标准点位，根据重力测量结果的示值误差和对应的测量不确定度，对厂家提供的被测仪器不确定度的评定数据进行验证、核定。评估承制方仪器测量不确定度评估是否合理，承试方应按照 GB/T 43740-2024 规定的程序和方法，将被试设备的测量不确定度 ($k=1$)、点位的测量不确定度 ($k=1$) 合成为示值误差测试不确定度 (若存在因仪器高度换算引起的重力梯度不确定度，也应一并合成)。示值误差绝对值应不大于示值误差测试不确定度的 2 倍。

7.5 动态型原子重力仪性能特性检测

7.5.1 内符合精度检测

按照 GB/T 43740-2024 规定的程序和方法进行检测，细化检测步骤如下。

- a) 使用动态型原子重力仪进行动态重复测线上选定点的重力测量；

- b) 在测线上选定 m 个公共数据 ($m \geq 20$) 采样段, 采样段序号记为 j ($j=1, 2, \dots, m$);
- c) 在测线上进行 n 次 ($n \geq 3$) 重复测量, 测量序号记为 i ($i=1, 2, \dots, n$);
- d) 测量并记录每次重复测线上 m 个公共采样段数据点的测量结果 F_{ij} ;
- e) 求出测线上 m 个公共采样段数据点 n 次重复测量结果的平均值 F_i ;
- f) 求出重复测线上 m 个公共采样段数据点的测量结果与平均值的差值 $\delta_{ij}=F_{ij}-F_i$;
- g) 根据 GB/T 43740-2024 的公式 (8), 求出原子重力仪的内符合精度 ε (单位为米每二次方秒 (m/s^2)):

7.5.2 外符合精度检测

- a) 使用动态型原子重力仪和校准后的参考重力仪 (如平台式或捷联式相对重力仪等) 同时进行动态测线上选定点的重力测量;
- b) 使用直线测线进行外符合精度检测, 两套仪器数据按照 600s 滤波平均后, 对测线上两套仪器的公共数据点进行序号标记, 数据点序号记为 i ($i=1, 2, \dots, n, n \geq 10$);
- c) 测量并记录测线上原子重力仪和参考重力仪公共数据点的测量结果: A_i 和 R_i ;
- d) 计算测线上原子重力仪与参考重力仪在公共数据采样段数据点的测量结果之差 F_i :

$$F_i = A_i - R_i \dots\dots\dots (5)$$

式中:

- e) 根据公式 (6), 求出原子重力仪的外符合精度 ζ (单位为米每二次方秒 (m/s^2)):

$$\zeta = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n F_i^2}{n}} \dots\dots\dots (6)$$

7.5.3 交叉点偏差检测

按照 GB/T 43740-2024 规定的程序和方法进行检测, 细化检测步骤如下。

- a) 在测线网格上有 n 个交叉点 (最少交叉点数讨论), 交叉序号记为 i ($i=1, 2, \dots, n, n \geq 20$);
- b) 测线网格包括 5 条主测线, 4 条检查线, 主测线长度 20 km, 航线序号记为 j , ($j=1$), 检查线序号记为 j ($j=2$) (最少主测线、检查线讨论);
- c) 使用动态型原子重力仪对每个交叉点进行两次不同线的动态交叉测试, 测量并记录重力值 F_{i1} 和 F_{i2} ;
- d) 计算网格测线中每一个交叉点的测量结果差值 $\delta_i = F_{i1} - F_{i2}$;
- e) 根据 GB/T 43740-2024 的公式 (9) 计算出交叉点偏差 ε_c (单位为米每二次方秒 (m/s^2))。

7.5.3 动态工作范围检测

按照 GB/T 43740-2024 规定的程序和方法进行检测, 细化检测步骤如下。

- a) 将动态型原子重力仪固定在运动载体上;
- b) 安装调试, 充分预热后启动动态型原子重力仪;
- c) 在运动载体静止 (或系泊) 状态下, 调试原子重力仪使其正常工作, 此时载体的运动加速度为最小值 0;
- d) 模拟海浪环境, 以 8 s 为周期, 在重力方向上按照 10% 的幅度增加载体加速度, 查看原子重力仪的运行状态;
- e) 若原子重力仪工作状态正常, 则记录载体运动加速度的数值 a_{+i} , 并重复步骤 (4);
- f) 若原子重力仪工作状态异常, 则按照 5% 的幅度减小载体运动加速度, 查看原子重力仪的运行状态, 若原子重力仪工作状态恢复正常, 记录载体当前运动加速度的数值 a_{max} ;
- g) 根据载体运动加速度的最大值 a_{max} 确定原子重力仪的动态工作范围 (最大误差 5%), 单位为米每二次方秒 (m/s^2)。

8 质量评定

8.1 质量评定标准

根据上述各项的检测情况，原子重力仪的质量可判定为不合格、合格2类，其中，合格类产品根据技术指标又细分为三个等级。

台式原子重力仪的质量评定标准见表5。

表5 台式原子重力仪质量等级评定标准

检测项目		台式原子重力仪质量等级			
		不合格	合格		
			三级	二级	一级
外观项		有损坏	完好无损	完好无损	完好无损
基本项	安全性	不符合	符合要求	符合要求	符合要求
	电磁兼容性	不符合	符合要求	符合要求	符合要求
	环境适应性	不符合	符合要求	符合要求	符合要求
	电源适配性	功能不全	符合要求	符合要求	符合要求
功能	测量显示	无	具备	具备	具备
	运输转运	无	具备	具备	具备
	时钟同步	无	具备	具备	具备
性能	短期灵敏度	-	$\leq 100 \mu\text{Gal}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\leq 30 \mu\text{Gal}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\leq 10 \mu\text{Gal}/\sqrt{\text{Hz}}$
	长期稳定度	-	$\leq 3 \mu\text{Gal}$	$\leq 1 \mu\text{Gal}$	$\leq 0.5 \mu\text{Gal}$
	测量重复性	-	$\leq 5 \mu\text{Gal}$	$\leq 5 \mu\text{Gal}$	$\leq 3 \mu\text{Gal}$
	分辨力	-	$\leq 3 \mu\text{Gal}$	$\leq 1 \mu\text{Gal}$	$\leq 0.5 \mu\text{Gal}$
	测量不确定度	-	$\leq 10 \mu\text{Gal}$	$\leq 5 \mu\text{Gal}$	$\leq 3 \mu\text{Gal}$

流动式原子重力仪的质量评定标准见表6。

表6 流动式原子重力仪质量等级评定标准

检测项目		流动式原子重力仪质量等级			
		不合格	合格		
			三级	二级	一级
外观项		有损坏	完好无损	完好无损	完好无损
基本项	安全性	不符合	符合要求	符合要求	符合要求
	电磁兼容性	不符合	符合要求	符合要求	符合要求
	环境适应性	不符合	符合要求	符合要求	符合要求
	电源适配性	功能不全	符合要求	符合要求	符合要求
功能	测量显示	无	具备	具备	具备
	运输转运	无	具备	具备	具备
	时钟同步	无	具备	具备	具备

性能	短期灵敏度	-	$\leq 1 \text{ mGal}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\leq 300 \text{ }\mu\text{Gal}/\sqrt{\text{Hz}}$	$\leq 100 \text{ }\mu\text{Gal}/\sqrt{\text{Hz}}$
	长期稳定度	-	$\leq 30 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 10 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 3 \text{ }\mu\text{Gal}$
	测量重复性	-	$\leq 50 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 30 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 10 \text{ }\mu\text{Gal}$
	分辨力	-	$\leq 30 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 10 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 3 \text{ }\mu\text{Gal}$
	测量不确定度	-	$\leq 100 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 30 \text{ }\mu\text{Gal}$	$\leq 10 \text{ }\mu\text{Gal}$

动态型原子重力仪的质量评定标准见表7。

表7 动态型原子重力仪质量等级评定标准

检测项目		动态型原子重力仪质量等级	
		不合格	合格
外观项	外观	有损坏	完好无损
基本项	安全性	不符合	符合要求
	电磁兼容性	不符合	符合要求
	环境适应性	不符合	符合要求
	电源适配性	功能不全	符合要求
功能	测量显示	无	具备
	运输转运	无	具备
	时钟同步	无	具备
性能	短期灵敏度（系泊状态）	-	$\leq 20 \text{ mGal}/\sqrt{\text{Hz}}$
	内符合精度	-	$\leq 2.0 \text{ mGal}$
	外符合精度	-	$\leq 2.0 \text{ mGal}$
	交叉点偏差	-	$\leq 3.0 \text{ mGal}$
	动态工作范围	-	$\geq 1.5 \text{ m/s}^2$
注：优于1、2、3级海况，航速（8±2）kn、12 kn航速。			

8.2 质量检测结果的处理

8.2.1 不合格产品的处理

按照8.1 节中的质量评定标准，凡不合格的检测产品，出具检验报告、不予核发检验合格证书。

8.2.2 合格产品的处理

按照8.1 节中的质量评定标准，对检验合格的产品，出具检测报告、核发质量检验合格证书，并注明相应的质量等级。

9 标志、包装、运输及贮存

9.1 标志

9.1.1 仪器标志

仪器标志应包括：

- a) 制造厂名称及地址;
- b) 仪器名称;
- c) 仪器型号;
- d) 商标;
- e) 制造日期、出厂编号;
- f) 其他重要标志。

9.1.2 包装标志

仪器包装标志应包括:

- a) 制造厂名称及地址;
- b) 仪器名称;
- c) 型号规格;
- d) 商标;
- e) 仪器质量 (单位: kg); 体积 (长 × 宽 × 高, 单位: mm);
- f) 符合 GB/T 191-2008《包装储运图示标志》规定的“易碎物品”“向上”“怕雨”等包装储运图示标志;
- g) 发货、收货单位名称及地址。

9.2 包装

9.2.1 仪器包装

应符合GB/T 13384-2008《机电产品包装通用技术条件》中防潮、防振包装规定。

9.2.2 随机文件

仪器的随机文件应包括:

- a) 使用说明书: 使用说明书是应随每台仪器提供的文件。
- b) 装箱单: 装箱单应指明所有的单独包装件, 并列出随仪器一起运输的附件和元件的详细清单, 如果使用说明书是装入包装件内, 则装箱单还包含使用说明书。
- c) 产品合格证。
- d) 备件清单。
- e) 维修说明书: 维修信息可以包括在使用说明书中亦可以维修说明书单独成册。

9.3 运输和存储条件

厂家应明确仪器的运输、存储条件。

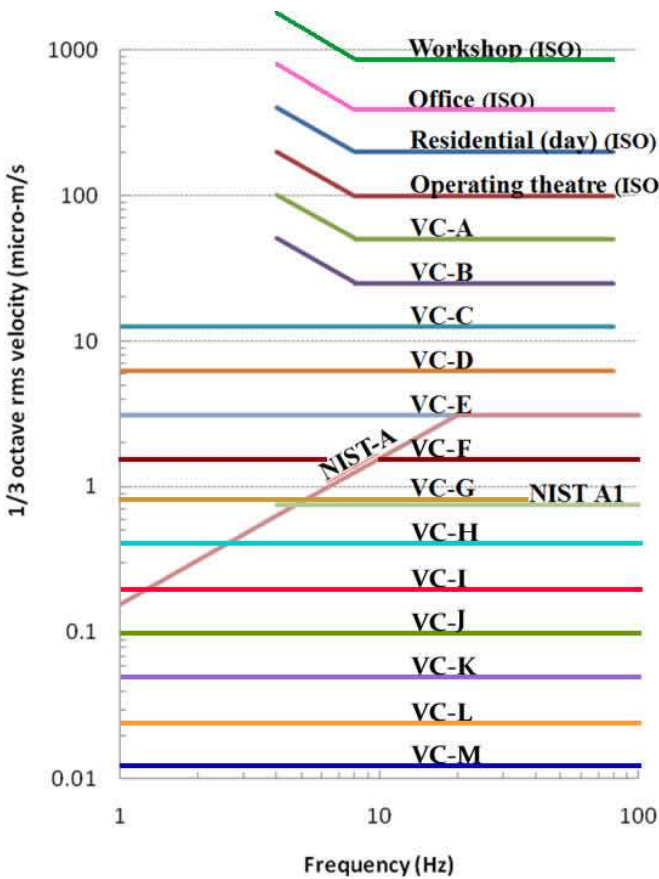
附 录 A
(资料性)
VC 振动准则

VC振动标准曲线由Eric Ungar和Colin Gordon在20世纪80年代初提出。该方法最初作为用于半导体、医疗和生物制药行业的振动敏感设备的通用振动标准，目前已经在各种技术应用中得到广泛应用。该标准采用一组三分之一倍频程速度谱的形式，以及国际标准组织（ISO）关于振动对建筑物内人员影响的指南^[3]。具体内容如图A.1和表A.1所示。

表A.1 VC 振动标准

曲线标准	振幅μm/s(μin/s)	用途描述
Workshop (ISO)	800 (32,000)	振感明显。适用于车间或非振动敏感区域。
Office (ISO)	400 (16,000)	可察觉的振动。适用于办公室及非敏感地区。
Residential Day (ISO)	200 (8000)	几乎察觉不到的振动。大多数情况下适合睡眠区域。通常适用于计算机设备、医院康复室、半导体探针测试设备和小于40倍的显微镜。
Op.Theatre (ISO)	100 (4000)	不易于察觉的振动。适用于外科设备，100倍的显微镜或其他低灵敏度的设备。
VC-A	50 (2000)	通常适用于400倍的光学显微镜、微天平、光学天平、接近和投影对准器等。
VC-B	25 (1000)	适用于线宽为3 μm的检查和光刻(包括步进机)。
VC-C	12.5 (500)	适用于1000倍光学显微镜，1 μm的检查/光刻检查设备（包括中灵敏度电子显微镜），TFT-LCD步进/扫描器。
VC-D	6.25 (250)	适用于要求苛刻的设备，包括电子显微镜（TEM和SEM）和电子束系统。
VC-E	3.12 (125)	一个难以达到的标准。适用于高灵敏度系统，包括长径、激光、小目标系统、纳米尺度的电子束光刻系统，以及其他对动态稳定性要求极高的系统。
VC-F	1.56 (62.5)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。
VC-G	.78 (31.3)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。
NIST-A		在高于20 Hz的频率下，NIST-A标准与VC-E曲线相同，但低于此频率时，则保持恒定位移。1至20 Hz之间为0.025 μm或25 nm；20至100 Hz之间为3.1 μm/s (125 μin/s)
NIST-A1		VIST-A1标准要求小于4 Hz的频率的RMS速度
VC-H	.39 (15.63)	适用于极其安静的研究空间；通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。
VC-I	.195 (7.81)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。
VC-J	.097 (3.9)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。
VC-K	.048 (1.95)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。
VC-L	.024 (0.98)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标

		准，仅用于评估。
VC-M	.012 (0.49)	适用于极其安静的研究空间;通常在大多数情况下都很难实现，尤其是在洁净室中。不建议将其用作设计标准，仅用于评估。



图A. 1 VC 振动标准曲线