

# 中国地震学会标准《超导重力仪检测技术规范》

## 征求意见稿 编制说明

### 一、 编制的必要性

重力场是地球固有的物理场之一，重力观测的基本任务之一就是取得连续完整、准确可靠的重力观测资料，服务于科学研究和生产实践。超导重力仪是一种基于低温超导与磁悬浮技术的、测定相对重力变化的高精度观测仪器，是迄今为止性能最稳定、观测精度最高的连续重力观测仪器。迄今为止该类型仪器已经在国内外开展了大量的观测工作，取得了众多重要的研究成果与科技进展，并在国内外众多重力台站开展了比较有典型意义的应用研究。

本技术规程的制定，是“十三五”国家重点研发计划项目《高精度地球物理场观测设备研制》的一项重要工作内容，拟基于该项目的重要研究成果之一——具有流动观测功能的轻便型超导重力仪，开展标准制定工作。上述新研发超导重力仪着重解决了零点漂移抑制、环境适应性提升、安全流动与快速启动等3个关键技术，分别构建了敏感探头、低温与流动保障系统、环境控制系统、数据记录与管理系统，并在此基础上进行系统集成，以实现相对重力变化的高精度观测，满足我国对地震灾害监测预警和时变重力监测的需求，取得了具有自主知识产权的突破性研究成果与技术进展。然而，上述超导重力仪研发单位华中科技大学与其最大的潜在用户中国地震局分别隶属于不同的行政系统，存在仪器研发与我国的实际应用需求联系不紧密的风险，有必要根据地震行业的具体需求制定相关规范加以约束和引导，提升相关设备应用效率。

为了科学检测、评估和规范这类基于低温超导和磁悬浮技术的高精度重力观测仪的主要技术性能，进一步促进该类新研发观测设备在地震监测领域的实用化研究以及成果转化应用，本立项申请拟基于我国超导重力观测的应用现状和最新发展需求，结合国内外在该领域的最新研究成就和技术进展，通过广泛的国内外技术调研、文献资料检索分析、以及野外对比观测试验等基础性研究工作，开展《超导重力仪检测技术规范》的研究和制订工作。本规范的对象是超导重力仪这一类仪器，它包含但不限于《高精度地球物理场观测设备研制》项目研制的轻便型超导重力仪。

本技术规程的编写，从我国地震系统监测预报工作的实际需求出发，在我国超导重力观测工作管理以及超导重力观测数据处理工作的基础上，进行分析和总结，对超导重力仪进入地震行业观测网的技术性能进行总体要求，对超导重力观测运行的技术要求进行详细规定。这将为我国超导重力仪研发的标准化和实用化起到积极作用。标准化产出的超导重力数据在环境监测和防震减灾等领域都具有重要意义。在进一步

适应我国地震重力台网观测、地震监测预报以及地球物理场应用需求之外，还将有助于促进我国高精度超导重力观测技术的自主研发、技术性能检测与推广应用，进一步推动相关仪器在地震行业领域及地震监测预报研究工作中的服务与发展。本规范是指导超导重力仪的研发以及观测的连续、平稳、标准运行的重要守则，可望成为中国地震学会的重要法律法规。

## 二、国内外情况简要说明

目前，国际上在地表重力观测领域应用较为广泛的高精度重力观测设备，包括超导重力仪，绝对重力仪，台站型相对重力仪和弹簧、石英型流动型重力仪等，其中超导重力仪的精度最高，在静止状态下可达到 $\pm 0.001$  微伽，以美国 GWR 公司的技术产品为主，主要测量重力随时间的变化；绝对重力仪的精度可达到 2 微伽（目前受技术进口的限制），以美国 Micro 公司的技术产品为主，主要测量重力的绝对值；以 CG-5、CG-6 和贝尔雷斯为代表的流动重力仪的观测精度约为 10 微伽，属于相对重力观测，主要测量不同观测站之间的重力差异，以美国 LCR 公司、加拿大 Scintrex 公司和 ZLS 公司的技术产品为主。

迄今为止，我国尚无自主研发的、商品化的超导重力仪。近年来，中国科学院电工研究所、华中科技大学等科研机构 and 高等院校逐步开展了超导重力仪的自主研发工作。中国科学院电工研究所王秋良院士团队近期主导完成了国家自然科学基金国家重大科研仪器研制项目《高精度超导重力仪的研制》，其研发的超导重力仪的分辨率在实验室可达到 0.01-0.001 微伽。华中科技大学刘向东教授团队参与了中国地质大学（武汉）主导的国家重点研发计划项目《高精度地球物理场观测设备研制》，负责轻便型超导重力仪研发工作，该超导重力仪的漂移率在实验室可到 0.5 微伽/月，并存在进行流动观测的潜力。上述新研发超导重力仪在实验室基本上达到了国际上现阶段同类产品的先进技术水平，具备较好的实用化潜力。

鉴于上述技术原因和仪器性能特征，稳定性和精度俱佳的超导重力仪无疑具有相当广阔的应用前景。但我国正在进行实用化观测的超导重力仪主要由美国 GWR 公司生产，价格昂贵、仪器数量有限、迄今为止尚不成规模，因此我国尚无专门针对超导重力仪的技术规程。目前针对重力观测的相关行业标准，如 DB/T 23—2007《地震观测仪器进网技术要求 重力仪》、DB/T 39—2010《地震台网设计技术要求 重力观测网》等，主要是针对以拉科斯特、CG-5、CG-6 和贝尔雷斯为代表的流动重力仪，部分涉及绝对重力仪，以野外流动重力测量设备的技术性能指标为主；正在制定中的台站重力观测规范也只是以 gPhone 等弹簧型台站重力仪为主要对象进行规范，迄今为止尚无适用于超导重力仪的技术规程。

本技术规程的研究和编写，可作为一项比较重要的基于科技创新活动的新成果类标准内容，对于补充和完善地震行业观测领域的标准体系结构，具有一定的促进作用；同时也可作为高精度重力观测仪器检测、检定要求的一项重要组成部分，和现行地震行业标准体系不存在重复和交叉等现象。

### 三、主要过程

#### 1、任务来源

2018年12月,国家重点研发计划项目《高精度地球物理场观测设备研制》(项目编号:2018YFC1503700)正式启动,项目牵头人为中国地质大学(武汉)的胡祥云教授。该项目第四课题《新研发观测设备的对比观测实验与入网技术规范》由中国地震局地震预测研究所的付广裕研究员牵头,其中设定了“新研发观测设备入网规范”的编写任务,包括项目新研发的轻便型超导重力仪的入网技术规范的编制工作。研究经费主要来自上述国家重点研发计划课题《新研发观测设备的对比观测实验与入网技术规范》(项目编号:2018YFC1503704)。

#### 2、起草单位和主要起草人

参与本次技术规程编制的主要单位:中国地质大学(北京)、中国地质大学(武汉)、华中科技大学、中国地震局地震预测研究所、湖北省地震局、中国地震局第二监测中心、中国地震局地球物理研究所。

主要起草人员:付广裕、胡祥云、张宁、高尚华、席继楼、刘向东、王振宇、杨君妍、申重阳、祝意青、陈石、黄倩、余雅文、刘泰。

#### 3、主要工作过程

自2018年12月国家重点研发计划项目《高精度地球物理场观测设备研制》立项以来,编制组以《DB/T 23—2007 地震观测仪器进网技术要求 重力仪》和《DB/T 22—2020 地震观测仪器进网技术要求 地震仪》为蓝本,在总结国内外超导重力仪的研发现状的基础上,结合《中国地球物理站网(地壳形变、重力、地磁)规划(2020—2030)》中的连续重力网运行工作内容,吸收《地壳运动监测技术规程》、《地震台网运行规范连续重力观测》中关于重力站和重力台网中心的技术要求和原则性要求,同时结合多年连续重力观测运行问题的解决方案以及超导重力观测数据的处理方法的基础上,从地震行业的高精度连续重力观测的需求出发,从超导重力仪的软硬件技术指标入手,对相关重力仪的入网技术要求设章编条,对各项主要技术指标构建合适的评价方案或者检测规程,编制出较为完善的《超导重力仪检测技术规范》草案。

在上述草案的基础上,迄今为止编写组主持召开过3次专题工作会议,并进行了多次小范围的讨论,进行草案的完善和修订。第一次工作会议上,规范编制主要负责人汇报了研究进展,与会专家进行了充分的讨论,逐步理清了编制思路和定位,促进了规范编制的进展。第二次工作会议之前,规范草案提前发给仪器研发专家与地震系统专家(潜在用户)审定,回馈的修改意见的针对性明显增强,经修改后,规范版本基本成型。第三次专题工作会议之后,规范版本臻于完善。各次会议和讨论的时间、主要议题以及成果如下。

2019年11月2日，规范编写组组织专家在北京新兴宾馆召开了第一次《新研发仪器入网技术规范专题讨论会》，参会人员包括《高精度地球物理场观测设备研制》项目跟踪专家、地震系统形变学科专家、项目组专家、规范编写组及丽江试验基地专家等，共计30余人。会上，李正媛研究员、李琪研究员和王赟教授分别主持了三类技术规程的讨论，与会专家们就共性和个性问题充分发了意见。主要建议归纳如下：1、充分肯定了三类新研发仪器技术规程已经开展的各项工作，并对该规范在新仪器研发、测试、试验、应用和项目验收等方面的重要作用，给予良好的预期。2、在三类新研发仪器技术规程讨论过程中，提出如下共性问题和建议：(1)、明确技术规程研究和编写工作的目标定位，将主要侧重点放在引导和促进新研发仪器的技术研发、性能测试和行业应用等方面，做好相关基础性研究工作，为推动新研发仪器的入网应用打好基础；(2)、充分结合地震行业的应用需求，目前的国内外相关发展动态，以及新研发仪器能够达到的技术性能等，和仪器研发方以及应用方密切沟通，为新研发仪器的研究和应用，发挥桥梁和媒介作用；(3)、进一步放宽视野，开展更为广泛的基础研究和技术调研等工作，充分包容最新的各行业领域的相关技术标准和规范文件、国际标准、以及国内外最新技术动态；(4)、新研发仪器的入网应用属于台网管理范畴，有相对严格的考核周期、技术流程和规范化管理制度，在研究和编写新研发仪器的技术规程的过程中，应尽量避免使用“入网”、“进网”等与台网管理相关联的概念和导语。规范编制组充分吸纳了上述建议，对规范文本进行了针对性地修改，并将规范题目修订为《流动超导重力仪检测技术规范》。规范草案避免了“入网”的概念，只针对相关仪器撰写技术规程，但该规范的撰写目标是为该类型仪器进入我国地震观测台网进行观测服务，依然与“入网”密切相关。



规范咨询工作会议

2019年11月16日，《高精度地球物理场观测设备研制》项目组与跟踪专家组在位于武汉的华中科技大学召开年度进展汇报会。付广裕研究员代表课题组汇报了相关规范撰写的进展情况，并对拟撰写规范存在的定位问题进行了梳理和汇报。在听取汇报之后，以高孟潭研究员为代表的项目跟踪专家建议从我国地震系统监测预报工作的实际需求出发，编制一类仪器的技术规程，即满足地震监测预报工作的仪器观测最低指标要求，同时编制适用于新研发仪器的检测规范。于是，本规范的定位问题得以解决。项目负责人

胡祥云教授建议课题组争取取得中国地震局相关标准的撰写权，以便我们的研究成果能更好地服务于我国地震监测预报工作。

2020 年上半年，由席继楼研究员参与研究及编制的《中国地震科学试验场标准体系设计（征求意见稿）》方案，初步将《地震观测仪器进网技术要求流动超导重力仪》纳入到中国地震科学试验场标准体系及研究编写明细中，为本规范与地震行业标准化研究工作挂钩奠定了一定的基础。

2020 年 9 月 9 日，北京，中国地震局地震预测研究所，规范撰写主要专家进行了内部会议，对前期调研情况进行了总结，对相关规范的定位与编制方案进一步沟通，并对后续的工作任务进行了安排。

2021 年 5 月 16 日，规范编写组组织专家在中国地震局地震预测研究所 506 会议室召开了第二次《新研发仪器入网技术规范专题讨论会》，参会人员包括《高精度地球物理场观测设备研制》项目跟踪专家、地震局规范撰写专家、地震局重力学科科技人员、相关大学与科研单位专家等，共计 20 余人。会上，陈石研究员、周克昌研究员和李琪研究员分别主持了三类技术规范的讨论，与会专家们听取了规范撰写人员的汇报，就共性和个性问题充分发了意见，给规范撰写人员提出了良好的修改意见。此次会议之前，规范撰写人员做出了较为充分的准备，于会议召开两周之前，将写好的规范草案发给项目组仪器研发人员（超导重力仪规范草案发给华中科技大学重力仪器研发人员），请仪器研发专家对草案进行审阅与修订；会议召开一周之前，将写好的规范草案发给参会专家（主要是地震局重力学科专家、规范制定专家）提前进行审议，并提出修改建议。因此，本次规范咨询会议召开的比较具有针对性，规范草案文本得到了较为充分的修订，草案版本基本成型。

2021 年 5 月 26 日，中国计量科学研究院昌平园区，付广裕教授参加了《国家自然科学基金重大仪器研制项目“高精度超导重力仪的研制”自评估验收会》，以王秋良院士为首的项目组提出用已标定的高精度超导重力仪标定新研发超导重力仪漂移率的相对重力标定方法。规范编制组认为该标定方法具有可行性，于是将上述“相对重力标定方法”吸纳进规范草案中。

2021 年 6 月初，付广裕教授就规范草案稿请教中国地震局重力学科前首席专家、湖北省地震局的李辉研究员。李辉研究员回答说，在《地震观测仪器进网技术要求 重力仪》（DB/T 23—2007）中确实涉及到磁场与气压对重力仪影响的检测，但国内重力测量学界，特别是地震系统的重力测量学界基本上都没有对磁场和气压对重力仪影响进行实际的检测，也缺乏相关检测的专业设备。鉴于此，编写组从编写的规范文本中去掉了磁场和气压对重力仪影响的相关内容。

2021 年 6 月 9 日，《高精度地球物理场观测设备研制》项目组与跟踪专家组在中国地质大学（武汉）召开年度进展汇报会。付广裕教授再次代表课题组汇报了相关规范撰写的进展情况，并对拟撰写规范存在的定位问题进行了梳理和汇报。

2021年8月31日，规范编写组组织专家在中国地震局地震预测研究所506会议室召开了第三次《新研发仪器入网技术规范专题讨论会》，参会人员包括《高精度地球物理场观测设备研制》项目负责人胡祥云教授、项目跟踪专家王赞教授、相关科研院所专家、地震局规范撰写专家、地震局重力学科科技人员等，共计20余人。

2021年11月~2021年12月，经过多方面的咨询和商讨，开展团体标准的标准化研究工作，并结合中国地震学会的指导性意见和建议，以及GB/T1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的相关要求，对已经初步起草完成的征求意见稿初稿进行了进一步的讨论和修改，特别是标准化文件的编写目的，以及拟解决的主要科学和技术问题等进行了深入研讨。

2022年1月~3月，结合团体标准的立项论证工作，起草组在进一步研讨的基础上，召开专门工作会议，对本技术规范文本内容进行逐条讨论，并在对相关问题进行了进一步的调研、落实和处理的基础上，形成了征求意见稿，报送中国地震学会，开展团体标准征求意见工作。

## 四、规范内容说明

本技术规程属性是推荐性规范，标准级别是一级学会团体标准，标准类别是基础标准，没有采用国际标准，属于首次制定。

本技术规程是以新研发地球物理观测设备为基础的产品类标准，主要标准化内容包括超导重力仪的观测对象、观测原理、观测环境、技术指标、检测方法及流程等，以面向地震行业、突出重点、凝练创新和兼顾应用为基本原则，结合国家重点研发计划项目的成果产出和我国地震行业领域的应用需求，为超导重力观测技术的研发、检测和实用化研究提供技术指引。本技术规程的主要内容说明如下。

### 1、规范的对象和范围

本文件的“范围”确定为超导重力仪的技术要求及测试方法，主要适用于超导重力仪的研发、测试、评估和实用化研究等。本规范的对象是超导重力仪这一类仪器，它包含但不限于《高精度地球物理场观测设备研制》项目研制的轻便型超导重力仪。本规范是在充分调研《中国地球物理站网（重力）规划（2020-2030）》与国内外超导重力研发现状的基础上，对各种超导重力仪的主要观测指标和观测精度进行总体要求，对相关仪器的运行稳定性、环境适应性等技术性能进行规定。这将为我国超导重力仪的研发工作指明改进方向，对我国的仪器研发与观测需求的有效结合起到推动作用，预期会提升相关超导重力仪的实用效能，更好地服务于我国的地震重力监测工作。

### 2、规范的技术要求

(1)、依据我国地震台站观测设备的技术现状和统一部署，基于高精度重力台站观测的实际情况，提出超导重力这类仪器的基本使用条件，包括仪器的体积、重量限制，环境温湿度范围，以及工作电源的电压

范围等。

(2)、在参考 DB/T23—2007《地震观测仪器进网技术要求：重力仪》和 GB/T20256—2019《国家重力控制测量规范》提出的关于重力观测的基本技术要求，以及调研国内外高精度重力观测仪器的发展现状和主要技术最新进展的基础上，提出超导重力测量的主要性能要求。该技术要求应在不低于 DB/T23 和 GB/T20256 所规定的基本技术要求的基础上，结合国内外超导重力技术以及《高精度地球物理场观测设备研制》项目新研发超导重力仪的技术性能，提出“超导重力仪”这类仪器的技术性能指标要求。

(3)、结合我国重力观测台网的总体要求、超导重力观测的独特要求、一般通信协议要求，以及必要的测量控制功能、数据产出功能以及测量保护功能等方面的基本要求，提出“超导重力仪”这类仪器进入我国地震行业重力观测台网进行实用化观测的最低功能要求。

### 3、规范中的测试方法

在充分参考 DB/T 23—2007《地震观测仪器进网技术要求 重力仪》、DB/T 39—2010《地震台网设计技术要求 重力观测网》以及 DB/T 22—2020《地震观测仪器进网技术要求 地震仪》等现行地震行业标准中的相关技术内容的基础上，结合超导重力仪的主要技术特性，国内外现有的超导重力技术的研发能力，以及在该类科技创新活动以及重力观测台站观测实践中提出和引用的相关测试方法，提出本技术规程中涉及的各项技术要求的“测试方法”。

“测试方法”的主要内容包括测试环境、测试设备、测试系统、测试内容、测试过程、测试步骤以及合格性判定原则，等等。本技术规程中所涉及到的测试方法包括超导重力仪的仪器噪声测试方法、漂移率标定方法、精度测定方法、以及轻便型超导重力仪的流动后启动时间的检测等。

### 4、本规范与 DB/T 23—2007《地震观测仪器进网技术要求 重力仪》的主要差异

(1) 关于规范的主要对象。DB/T 23—2007 规范的对象主要是拉科斯特、贝尔雷斯、CG-5、CG-6 等流动型重力测量仪器，同时涉及到绝对重力仪与超导重力仪，本标准主要规范的是超导重力仪，因此添加了超导重力仪的定义、体积、重量、工作原理、低温系统、时钟授时等内容。

(2) 关于重力仪漂移的标定。本规范删除了 DB/T 23—2007 中适应于流动型重力测量仪器的长基线和短基线标定方法，添加了适用于超导重力仪的绝对重力标定方法与相对重力标定方法。

(3) 关于仪器噪声分析。DB/T 23—2007 不涉及重力仪的噪声分析问题。本规范参考地震观测仪器的噪声分析方法，添加了适用于连续重力观测仪的两台仪器并址观测噪声分析方法和三台仪器并址观测噪声分析方法。同时考虑到超导重力观测的低频部分信号（非线性漂移等信号）的重要性，本规范添加了一个适用于潮汐观测仪器的自噪声估算方法，可便利分析超导重力数据的的噪声水平和漂移率。

(4) 关于磁场、气压对重力仪的影响。DB/T 23—2007 有详细的磁场、气压对重力仪影响的技术内

容与测定方法。但是近几十年来，我国的重力测量学界基本上都没有测定磁场、气压对重力仪的影响，相关测试设备已经老化甚至失去工作能力。鉴于此，本规范删除了磁场、气压对重力仪影响的相关内容。

(5) 关于流动后启动时间。国家重点研发计划项目《高精度地球物理场观测设备研制》对新研制的轻便型超导重力仪的流动后启动时间有指标要求，因此本规范添加了轻便型超导重力仪流动后启动时间的描述以及相应的测试方法。

## 五、其他问题说明

### 1、标准水平分析

目前国内外尚缺乏直接针对高精度连续重力观测仪的技术规程。本技术规程是以我国最新研发的地球物理观测设备为基础的产品类标准，具有显著的创新性和技术先进性。

### 2、与有关的现行法律、法规和强制性标准的关系

本规范在编制过程中充分考虑了与现行法律法规的协调性与一致性。本规范以 2007 年修订的《DB/T 23—2007 地震观测仪器进网技术要求 重力仪》和《DB/T 22—2020 地震观测仪器进网技术要求 地震仪》为蓝本，吸收正在制定中的《地震台网运行规范 连续重力观测》中关于重力站和重力台网中心的技术要求和原则性要求，结合华中科技大学正在研制的轻便型超导重力仪的基本技术特征以及国际同类型仪器的研发现状，编制而成。本标准与《地震观测仪器进网技术要求 重力仪》DB/T 23—2007 在内容上有互补之处，但规范针对的对象不同。本标准规范的对象为连续观测的超导重力仪，DB/T 23—2007 规范的对象主要是针对以拉科斯特、CG5、CG6 以及贝尔雷斯为代表的流动重力仪，以野外流动重力测量设备的技术性能指标为主。两个规范相互补充。本规范与现行《中华人民共和国防震减灾法》相一致，与其他法律、法规、标准无相互违背之处。

### 3、重大分歧意见的处理过程及依据

无

### 4、作为强制性标准或推荐性标准的建议及理由依据

本标准实施与重力台网建设程度相关，因此编写组建议本学会标准为推荐性标准。

### 5、贯彻标准的有关措施建议

建议早日公布，为我国方兴未艾的超导重力仪器研发提供优化与改进的方向，提升相关新研发设备的应用效率。

规范编制工作组

2022 年 3 月 20 日