

中国地震学会标准《多参量光纤地震观测仪器检测技术规范》 征求意见稿编制说明

一、编制的必要性

近些年，随着光纤传感技术的迅速发展，开发了一系列高精度的面向地震监测与研究的光纤地震观测仪器，特别是基于光纤光栅的应变仪和温度仪，性能稳定、精度高，已经在国内外开展了大量的研究和观测工作，取得了很多重要的研究成果与科技进展，并在国内外不少地震观测台站开展了比较有典型意义的应用研究。

本技术规范的制定，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，拟基于该项目的一项重要研究成果——“光纤多参量地震观测装置”中的光纤应变/温度仪，开展标准的制定工作。上述新研发多参量地震观测装置着重解决了光纤应变/温度传感器封装、光纤光栅谐振波长的高精度检测关键技术，分别研制了高精度、阵列化静态应变传感器和高精度、多通道光纤地温传感器，在此基础上，采用波分复用和空分复用技术进行系统集成，攻克光纤多参量地震光纤传感网络结构设计和组网关键技术，实现应变、温度数据的同步采集和分析处理，满足我国对地震灾害监测预警和应变/温度监测的需求，取得了具有自主知识产权的突破性研究成就和技术进展。

为了科学检测、评估和规范这类光纤地震观测仪器的主要技术性能，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及成果转化应用，本立项申请拟基于我国应变/温度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《多参量光纤地震观测仪器检测技术规范》的研究和制定工作。

本技术规范的编写，从我国地震系统监测预报工作的实际需求出发，在我国地震监测站网管理以及地壳观测数据应用研究的基础上，进行分析和总结，对该多参量光纤地震观测仪器应用于地震监测领域的技术性能进行总体要求和详细规定，这将有助于促进我国高精度光纤地震观测仪器的自主研发、技术性能检测与推广应用，进一步推动相关仪器设备在地震行业领域及地震监测预报研究工作中的研究与发展。

二、国内外情况简要说明

目前，已经发展出了多种形式的地震观测设备，包括钻孔应变仪、石英伸缩仪、激光应变仪、光纤应变仪、石英温度传感器、光纤温度传感器等不同形态、不同工作原理的测量设备。其中，钻孔应变仪、石英伸缩仪、石英温度传感器作为传统技术，已经在国内多个地震台布设并联网。

随着光纤技术的发展，多种高精度的面向地震监测与研究的光纤地震观测仪器陆续被开发出来。2005年以来，澳大利亚国立大学的Chow和意大利国家光学研究所的Gagliardi等人对基于激光锁频和光纤光栅谐振腔的高精度应变传感技术开展了深入研究^[1-5]，将光纤光栅的应变测量精度提高到 $10^{-12}\text{Hz}^{-1/2}$ (100 Hz~100 kHz)量级，并且通过绝对稳频参考源将高精度光纤光栅的应变测量向低频段拓展。2010年，G. Gagliardi等人在Science上报道了利用光学频率梳(Optic Frequency Comb, OFC)来稳定半导体激光二极管，实现了光纤光栅应变的超高分辨率解调^[13]，其应变测量分辨率达到了前所未有的 $10^{-13}\epsilon$ ，接近了光纤检测的热力学极限，证实了利用光纤光栅技术发展应变测量的可能性^[6]。

上海交通大学/日本东京大学的何祖源提出了基于窄线宽可调谐激光器和高精度参考光纤光栅谐振腔的高精度宽频带应变测量，实现了优于 10^{-9} 量级的静态应变测量^[7-8]。他们在东京大学地震研究所所属的油壶湾地壳形变观测站开展了现场测试，实验表明，他们研发的高精度应变传感器不仅清晰地记录到了潮汐地壳应变信息，还记录到了2015年日本千叶县发生的里氏3.9级地震波信号，表明传感器能够同时测量地震波频段的应变信号与更大尺度上的准静态应变信号^[9-10](图1-2)。

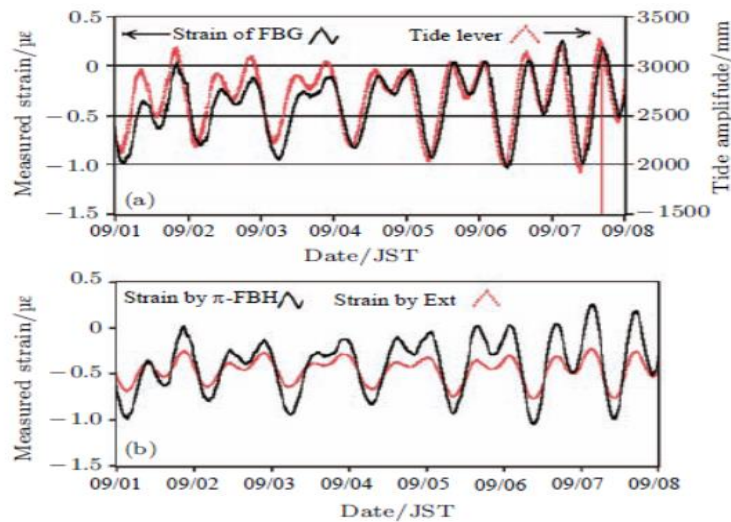


图1 2014年9月1日至8日期间日本神奈川县油壶湾地壳形变观测站传感器测得的潮汐致地壳形变数据 (a)传感器测得应变数据及潮汐数据(9月7日的个别潮汐观测数据缺失，显示为0mm) (b)传感器测得数据与伸缩计测量结果之对比

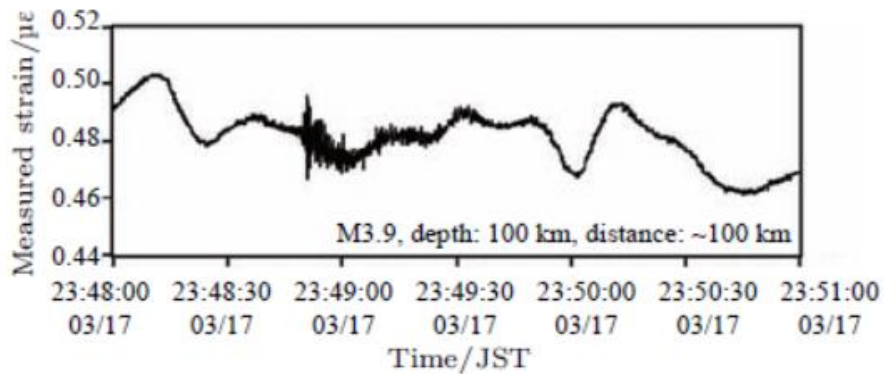


图2 2015年3月17日23时48分日本千叶县发生里氏3.9级地震前后传感器测得的应变数据

近年来,意大利国家光学研究所^[11]、上海交通大学^[12]、中科院半导体所^[13-15]、哈尔滨工程大学等国内外研究机构在超高精度宽频带光纤光栅传感技术方面投入了大量研究,一些新型的传感机制(如基于相移光栅环的高精度应变传感机制)、解调方法(基于光纤光栅谐振腔瞬态响应的高精度应变测量时分复用解调方法)和器件应用(基于窄线宽光纤激光器的高精度静态应变测量技术)被纷纷提出,不但将光纤光栅的静态应变测量精度提高到 10^{-10} 量级,而且也能实现优于 10^{-11} 量级的动态应变测量。具体地说,上海交通大学的何祖源2016年利用双环锁定方法,将应变的测量分辨率提升到了 $0.01 \text{ n}\epsilon$,并实现了149dB的测量动态范围^[16]。同年,中科院半导体所的张文涛提出使用有源光纤光栅代替传统光纤光栅来进行应变的测量,并实现了 $67.8 \text{ p}\epsilon/\sqrt{\text{Hz}}$ 的应变分辨率^[17]。他们与中国地震局地球物理研究所、中国地震局第二监测中心合作,于2016年在昭通市巧家县老地地震观测站完成了基岩钻孔型的光纤光栅应变仪的安装实验,该光纤光栅应变仪可清晰记录固体潮信息及周围的地震波信号^[18]。哈尔滨工程大学研发的光纤静态应变系统达到了 $0.0724 \times 10^{-10} \epsilon/\sqrt{\text{Hz}}$ 的分辨力、DC~70Hz的工作带宽以及108dB的动态范围。2021年,上海交通大学利用光纤法布里-珀罗干涉仪、超稳定探测激光器和PDH技术,设计了一款具有超高分辨力的光纤应变和温度传感系统,实现了 $14 \text{ f}\epsilon/\sqrt{\text{Hz}} @ 1 \text{ kHz}$ 的应变分辨力和 μK 量级的温度分辨力,测量上限分别达到 $800 \mu\epsilon/100 \text{ K}$ ^[19]。这些研究使得光纤光栅传感器在地球物理勘探、地震观测以及海洋观测等领域具备了很好的应用潜力。

鉴于上述技术原因和仪器性能特征,环境适应性和指标俱佳的光纤地震观测仪器无疑具有广阔的应用前景。目前针对地震观测仪器的相关行业标准,如DB/T 31.2—2008《地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分:应变仪》、DB/T 8.1—2003《地震台站建设规范 地形变台站 第1部分:洞室地倾斜和地应变台站》、DB/T 32.2—2008《地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分:测温仪》等主要是针对传统的石英伸缩仪、钻孔应变仪、石英温度仪而编制的。迄今为止尚无适用于基于光纤传感技术的地震观测仪器的技术规范。

本技术规范的研究和编写,将充分结合我国地震监测台网的应用和发展需求,以及国内外在该领域的最新研究成就和技术进展,针对地震监测领域的应用目标,对多参量光纤地震观测仪器的技术要求和测试方法进行研究和梳理,这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。

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，包括项目新研发的多参量光纤地震观测仪的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

参与本次技术规范编制的主要单位：中国地震局地震预测研究所、中国地质大学（武汉）、中国地质大学（北京）、哈尔滨工程大学、上海交通大学、北京航空航天大学、中国地震台网中心。

主要起草人员：高尚华、胡祥云、付广裕、刘志海、席继楼、刘庆文、杨远洪、李正媛、薛兵、陈会忠、金威、金红林、黄倩、孙盼盼。

3、主要工作过程

自承担“多参量光纤地震观测仪器技术规范”编制任务以来，编制组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，把握了国内外在面向地壳形变观测的光纤传感技术的最新研究进展和技术水平。在充分参考《DB/T 31.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分：应变仪》、《DB/T 32.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分：测温仪》和《DB/T 22—2020 地震观测仪器进网技术要求 地震仪》等标准和相关文献的基础上，结合《中国地球物理站网（地壳形变、重力、地磁）规划（2020-2030）》中的地壳形变运行工作内容，考虑我国地震监测站网需求和光纤传感器自身的特点，同时结合多年的仪器研发和实验测试经验的基础上，对相关光纤应变/温度仪器的主要技术指标进行总体要求，对各项主要技术指标构建合适的评价方案或者检测规程，据此编制出较为完善的《多参量光纤地震观测仪器技术方案》草案。

在上述草案的基础上，编写组至今召开过三次专题工作会议，并进行了多次小范围的交流和讨论。第一次工作会议上，规范编制主要负责人高尚华研究员汇报了研究进展，会议进行了充分的讨论，逐步理清了编制思路和定位，为规范的编制奠定了基础。第二次工作会议之前，编制组将撰写的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，效果明显，经修订后，撰写的规范草案稿基本成型。第三次专题工作会议之后，规范趋于完善。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，课题主要承担单位中国地震局地震预测研究所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、地震局学科专家、项目组专家、课题组及丽江试验基地专家，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范的讨论。在听取汇报后，与会专家就三部规范的共性

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范已经开展的各项工 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)在对三类新研发仪器技术规范讨论过程中，提出如下共性问题和建议：①明确技术规范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，和仪器研发方和应用方密切沟通，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等；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范的过程中，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。



图3 第一次规范咨询工作会议

2019年11月16日，武汉，《高精度地球物理场观测设备研制》项目组与跟踪专家组在华中科技大学召开了项目年度进展汇报会。在听取第四课题组的汇报之后，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范，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各项指标的检测规程。孟潭研究员的讲话为本规范的编制思想与工作定位奠定了基础，指明了方向。

2020年9月9日，北京，中国地震局地震预测研究所，规范撰写组主要成员进行了内部会议，对前

期的调研情况进行了总结，对相关规范的定位与编制方案进行了进一步沟通，并对后续的任务进行了安排。

2021年5月16日，重点研发计划课题主要承担单位、中国地震局地震预测研究所组织专家，在地震预测研究所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、以及相关大学与科研单位专家，共计20余人。会上，周克昌研究员主持了光纤地震观测设备技术规范的讨论，与会专家在听取汇报后充分发表了意见，给规范撰写组提出了良好的修改建议。此次会议之前，规范撰写组做出了较为充分的准备，于会议召开两周之前，将撰写好的规范草案发给哈尔滨工程大学等单位的仪器研发人员，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地震局系统参会专家提前进行审议，并提出修改建议。因此，本次规范咨询会议召开的效果较好、专家给出的修改建议具有针对性，规范草案文本得到了较为充分的修订，草案版本接近成型。



图4 第二次规范咨询工作会议

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。付广裕研究员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。在听取汇报之后，相关项目跟踪专家认为，得到地震行业的规范撰写授权需要争取，但非常困难，尚需更多努力。项目组首席跟踪专家高孟潭研究员认为，规范的授权是行政行为，不是我们编写组或者项目组可以决定的；作为科技人员，我们只需要通过专家评审，满足项目结题要求即可。项目负责人胡祥云教授认为，即使课题组难以得到中国地震局相关规范的官方授权，也需要继续争取，同时希望大家争取得到中国地球物理学会或者中国地震学会团体规范的撰写授权，项目组也会一起

努力。

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，地震预测研究所以外单位专家基本上都是网上参会。专家们对于规范的名称、测试方案进行了进一步的审定，并提出了进一步的完善建议。修改后，规范草案臻于完善。

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

本技术规范属性是推荐性规范，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。本技术规范的相关条文说明如下。

1、关于规范名称

依据GB/T 20001.5-2017《标准编写规则 第5部分：规范标准》的相关技术要求，作为产品类标准化文件，标准名称的主体要素宜为标准化对象，当标准中包含三个及以上标准化目的时，其补充要素可使用“技术规范”，而不能使用“技术要求”。

针对标准化主体：新研发的光纤多参量地震观测系统，其关键词包括：光纤光栅、多参量、地应变、温度、参考光纤光栅阵列、传感光纤光栅阵列、高精度，自动化等。该观测系统利用光纤光栅传感技术，能够同时观测温度和地应变。其中，高精度和自动化可以通过技术要求进行规范，参考光纤光栅阵列和传感光纤光栅阵列可以在介绍工作原理时指出。所以，文件名称需要涵盖光纤光栅、多参量、地应变、温度等等基础概念。通过上述考虑和分析，将规范名称确定为：《多参量光纤地震观测仪器检测技术规范》。

2、范围

本技术规范是以新研发地球物理观测设备-多参量光纤地震观测仪为基础的产品类标准，主要标准化内容为基于光纤传感技术的应变观测和温度观测等的观测对象、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

产出和地震行业领域的应用需求，为多参量光纤地震观测仪器的研发、检测和实用化研究提供技术指引。

因此，将本规范的“范围”确定为多参量光纤地震观测仪器（光纤洞体应变和温度）的技术要求及测试方法，适用于多参量光纤地震观测仪器的研发、测试和评估等。

3、术语与定义

本技术文件参考和引用了 GB/T 13983-1992、GJB 2426A—2015、JJF 1001-2011 和 DB/T 21-2007 确立的部分概念和定义，同时，为了方便理解和应用，结合 JG/T 422-2012 以及相关参考资料和文献，对“光纤光栅应变传感器”、“光纤光栅温度传感器”、“复用个数”等与本技术规范直接关联，但无法从其他已经颁布标准中引用的几个概念，进行了归纳和定义解释。

4、技术要求

(1) 关于“使用条件”

根据我国地震台站观测仪器设备的技术现状和统一部署，以及参考文献中关于洞室应变和温度测量对观测室的相关技术要求，提出了如下使用条件要求。

①电源电压：AC198V~242V 或 DC10.5V~15.0V，交流和直流供电应能自动切换。

②温度范围 0℃~40℃，日温差应小于 0.02℃，相对湿度应小于 90%。

(2) 关于“性能要求”

性能要求主要是基于光纤光栅传感器的洞室应变和温度测量等。为便于讨论，下面按照光纤应变、光纤温度分类进行说明。

①光纤应变测量性能要求

用于洞室观测的光纤应变测量的性能水平，可以通过分辨力、工作带宽、动态范围、线性度误差、漂移、最大允许误差、噪声功率谱密度等几个指标进行衡量。在确定光纤应变的这些技术指标时，主要参考了如下几项依据：

a) 《DB/T 8.1-2003 地震台站建设规范 地形变台站 第 1 部分：洞室地倾斜和地应变台站》和《DB/T 31.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第 2 部分：应变仪》提出的对地应变观测的基本技术要求。

b) 我国地震台网在用仪器能够达到的各项技术性能指标。

c) 国际上目前基于光纤光栅传感器的地应变观测能够实现的最佳技术性能。

d) 我国最新研制的光纤光栅低应变仪能够达到的技术性能，以及应用于动态应变观测的伸缩仪能够达到的技术性能。

在上述调研的基础上，提出了略高于 DB/T 8.1-2003 和 DB/T 31.2—2008 的技术要求、兼顾了国内外

最新技术研究进展的基本技术性能指标体系。

在综合调研、分析和讨论的基础上，针对光纤地应变的观测性能，提出了如下主要技术指标要求：灵敏度 $\geq 0.1\text{mV}/1 \times 10^{-9}$ ，分辨力优于 5×10^{-10} ，工作带宽 $20\text{Hz} \sim 1\text{a}$ ，测量上限 $\geq 5 \times 10^{-6}$ ，线性度误差优于1%，月平均日漂移不大于 1×10^{-8} 每天，最大允许误差 $\text{MPE} = 8 \times 10^{-9}$ ，噪声功率谱密度 $\leq 1 \times 10^{-10} \varepsilon/\sqrt{\text{Hz}}@1\text{Hz}$ 。其中，我们新增了噪声功率谱密度这一指标，提出借鉴较为成熟的地震仪的做法，应用台站记录数据和相关分析法，计算仪器的噪声水平，据此可以计算仪器的动态范围。另外，工作带宽指标略高于DB/T 8.1-2003和DB/T 31.2-2008的技术要求，原因有以下两点，一是在全频带地震观测系统的需求下，对前兆仪器的频带宽度提出了新的要求；二是研发的仪器能够达到这些技术指标，例如中国地震局地震研究所研制的宽频带短基线伸缩仪的观测频带上限能够达到200Hz，动态范围能达到126dB；哈尔滨工程大学研制的光纤应变仪观测频带上限能够达到70Hz，动态范围能够达到108dB。

② 光纤温度测量性能要求

用于洞室和地表观测的光纤温度测量的性能水平，可以通过分辨力、测量范围、最大允许误差和漂移（稳定度）这几个指标进行衡量。

在参考相关标准如《DB/T 32.2-2008 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分：测温仪》和《JJG 809-1993 数字式石英晶体测温仪检定方法》，充分调研国内外光纤温度传感技术的发展现状和主要进展的情况下，结合我国地球物理观测台网对温度测量的总体需求，对光纤温度测量提出了如下主要技术指标要求：分辨力优于 0.0001°C ，测量范围 $0^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ，最大允许误差 $\leq 0.05^\circ\text{C}$ ，漂移 $\leq 0.001^\circ\text{C}/\text{d}$ 。其中，分辨力指标高于DB/T 32.2-2008的要求，其他指标持平。随着技术的发展，分辨力达到 0.0001°C 不再是难事。且在目前的中国地震局的测温仪定型测试中，也要求测温仪的分辨力指标优于 0.0001°C 。

关于其他性能要求，除了增加了一项“复用个数”指标外，其他的主要是参考了已经发布实施的《DB/T 31.2-2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分：应变仪》和《DB/T 32.2-2008 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分：测温仪》等相关标准的要求。

(3) 关于“功能要求”

针对本技术规范的目标仪器“多参量光纤地震观测仪器”，其功能要求主要以国家地震台网的总体要求、地应变/温度观测的基本要求、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基本要求为主，不限制在仪器功能实现上的多路扩充。因此，在本技术规范中仅提出了几条最基本的功能要求，包括测量功能、网络通信功能和时钟自动校对功能。

(4) 关于“安全要求”

作为一项在公共领域运行的电子产品，其安全性能是必不可少的技术性能之一。本技术规范主要参考了《地震观测仪器进网技术要求》系列标准的总体“安全性能”要求，对电击防护、电气强度电压和泄露电流

这几个性能指标进行了规定。

5、测试方法

多参量光纤光栅地震观测仪器的主要技术指标测试方法，在参考了《DB/T 31.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分：应变仪》、《DB/T 32.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分：测温仪》、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测试方法的基础上，结合了光纤光栅地震观测仪器的主要技术特性以及我国现有的地应变/温度检测能力，综合参考和引用了何祖源（2017）、李爱群（2009）、赵双祥（2021）等的科技论文中提出的相关标定测试方法，以及地震局监测领域广大技术人员在地应变/地温观测实践中，提出和采用的各类技术性能评价方法等。

在此基础上，本规范针对地应变/温度测量提出了参考性的检测方法，其中：①对于光纤地应变，提出应用纳米平移台测试仪器的灵敏度、线性度和测量上限；并提出了借鉴较为成熟的地震仪的做法，应用台站记录数据和相关分析法，计算仪器的噪声水平；根据仪器噪声水平和测量上限，计算仪器的动态范围指标。在测试仪器的的工作带宽时，提出了两种测试方法，一种是应用正弦波测试，通过纳米平移台向仪器输入一组等幅度、频点离散的正弦应变信号，记录仪器的输出，计算绘制仪器的幅度响应曲线，得到仪器工作带宽；另一种是应用阶跃测试，通过纳米平移台向仪器输入一个阶跃应变，记录仪器的输出，通过分析仪器对阶跃信号响应的过渡过程，计算得到工作带宽。这两种工作带宽测试方法均可使用，在时间和设备指标允许的情况下，优选第一种测试方法。②对于光纤温度，主要还是借鉴了标准 JJG 809—1993 和 DB/T 32.2—2008，以铂电阻温度计作为参考，利用恒温水槽/油槽开展对比测试，测量光纤温度的最大允许误差和测量范围；利用水三相点瓶/冰点器/镓熔点炉测量光纤温度的短期漂移。对于光纤温度的分辨力，提出在恒温水槽中开展对比观测的办法进行。

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面向地球物理的多参量高精度光纤地震观测仪器的技术规范。本技术规范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，具有一定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。本规范是在《DB/T 31.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分：应变仪》、《DB/T 32.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第2部分：测温仪》、和《DB/T 22—2020 地震观测仪器进网技术要求 地震仪》等相关的法规、标准的基础上指定的，相关技术内容隶属于地震行业领域的地震监测标准化体系。

本规范与标准 DB/T 31.2-2008 在内容上有互补之处，但规范针对的对象不同。本规范针对的是光纤地应变/温度仪器，而 DB/T 31.2-2008 针对的是用于洞室的伸缩仪、用于钻孔的体应变仪和分量应变仪。观测对象和工作原理的不同，使得在有些具体指标的要求和测试上存在差异。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

光纤技术的迅速发展，使其具备了在地球物理观测领域应用的水平和条件。本规范所提出的技术要求和测试方法仅供参考执行，非唯一性，故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

希望早日公布，推进光纤光栅传感技术在地震监测领域中的实用化研究和成果推广应用。

规范编制工作组

2022 年 3 月 20 日

参考文献

- [1] Chow J H, Littler I C M, De Vine G, *et al.* Phase-sensitive interrogation of fiber Bragg grating resonators for sensing applications[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2005, 23(5):1881-1889.
- [2] Chow J H, Littler I C M, De McClelland D E, *et al.* Laser frequency-noise-limited ultrahigh resolution remote fiber sensing[J]. *Optics Express*, 2006, 14(11):4617-4624.
- [3] Gagliardi G, Salza M, Ferraro P, *et al.* Fiber Bragg-grating strain sensor interrogation using laser radio-frequency modulation[J]. *Optics Express*, 2005, 13(7): 2377-2384.
- [4] Lam T T Y, Chow J H, Mow-Lowry C M, *et al.* A stabilized fiber laser for high-resolution low-frequency strain sensing[J]. *IEEE Sensors Journal*, 2009, 9(8): 983-986.
- [5] Lam T T Y, Chow J H, Shaddock D A, *et al.* High-resolution absolute frequency referenced fiber optic sensor for quasi-static strain sensing[J]. *Applied Optics*, 2010, 49(21): 4029-4033.
- [6] G. Gagliardi, M. Salza, S. Avino, P. Ferraro, P. De Natale. Probing the Ultimate Limit of fiber-optic strain sensing[J]. *Science*, Vol 330: 1081-1084, 2010.
- [7] Liu Q W, Tokunaga T, He Z Y. Realization of Nano static strain sensing with fiber Bragg gratings interrogated by narrow linewidth tunable lasers[J]. *Optics Express*, 2011, 19(21): 20214-20223.
- [8] Liu Q W, Tokunaga T, He Z Y. Ultra-high-resolution large-dynamic-range optical fiber static strain sensor using Pound-Drever-Hall technique[J]. *Optics Letters*, 2011, 36(20):4044-4046.

- [9] 何祖源, 刘庆文, 陈嘉庚, 面向地壳形变观测的超高分辨率光纤应变传感系统, 物理学报, 第 66 卷第 7 期, 2017
- [10] Liu Q W, He Z Y, Tokunaga T. Sensing the earth crustal deformation with nano-strain resolution fiber-optic sensors, *Optics Express*, 23(11): A428-A436, 2015.
- [11] Malara P, Mastronardi L, Campanella C E, *et al.* Split-mode fiber Bragg grating sensor for high-resolution static strain measurements[J]. *Optics Letters*, 2014, 39(24): 6899-6902.
- [12] Chen J G, Liu Q W, He Z Y. Time-domain multiplexed high resolution fiber optics strain sensor system based on temporal response of fiber Fabry-Perot interferferometers[J]. *Optics Express*, 2017, 25(18): 21914-21925.
- [13] Huang W Z, Zhang W T, Zhen T K, *et al.* A cross-correlation method in wavelet domain for demodulation of FBG-FP static-strain sensors[J]. *IEEE Photonics Technology Letters*, 2014, 26(16): 1597-1600.
- [14] Huang W Z, Zhang W T, Zhen T K, *et al.* π -phase-shifted FBG for high-resolution static-strain measurement based on wavelet threshold denoising algorithm[J]. *Journal of Lightwave Technology*, 2014, 32(22): 3692-3698.
- [15] Huang W Z, Zhang W T, Li F. Swept optical SSB-SC modulation technique for high-resolution large-dynamic-range static strain measurement using FBG-FP sensors[J]. *Optics Letters*, 2015, 40(7): 1406-1409.
- [16] Chen J, Liu Q, Fan X, *et al.* Ultrahigh resolution optical fiber strain sensor using dual Pound-Drever-Hall feedback loops.[J]. *Optics Letters*, 2016, 41(5): 1066-1069.
- [17] Huang W, Feng S, Zhang W, *et al.* DFB fiber laser static strain sensor based on beat frequency interrogation with a reference fiber laser locked to a FBG resonator[J]. *Optics Express*, 2016, 24(11): 12321-12329.
- [18] 张文涛, 黄稳柱, 李芳, 高精度光纤光栅传感技术及其在地球物理勘探、地震观测和海洋领域中的应用, 光电工程, 2018, 45(9): 170615。
- [19] ShuangXiang Zhao, Qingwen Liu, Jiageng Chen, Zuyuan He, Resonant fiber-optic strain and temperature sensor achieving thermal-noise-limit resolution, Vol.29, No.2/18, January 2021, *Optics Express*, 1870-1878.
- [20] 白雪, 黎玮, 光纤光栅温度传感器地面比对校准技术研究, 计量与测试技术, 第 47 卷第 1 期, 2020.
- [21] 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.
- [22] DB/T 8.1—2003 地震台站建设规范 地形变台站 第1部分: 洞室地倾斜和地应变台站.
- [23] DB/T 21—2007 地震观测仪器进网技术要求 常用技术参数表述与测试方法.
- [24] DB/T 31.2—2008 地震观测仪器进网技术要求 地壳形变观测仪 第2部分: 应变仪.
- [25] DB/T 22—2020 地震观测仪器进网技术要求 地震仪.
- [26] 地震观测仪器进网技术要求 地下流体观测仪 第 2 部分: 测温仪.
- [27] 地震监测专业设备定型测试技术规范(测温仪).