

国家计量技术规范

《桥梁结构健康监测用 光纤光栅式静态应变测量系统》

编制说明

(征求意见稿)

规范编制组

2022年8月

目 录

一、任务来源.....	4
二、编制背景.....	4
1、概要.....	4
2、制定意义.....	4
3、国内外研究现状.....	4
4、发展趋势及研究基础.....	6
5、参考文献.....	8
三、编制过程.....	8
1、编制原则.....	13
2、工作进程.....	13
3、人员分工.....	14
四、编制依据.....	14
五、主要技术内容的论据.....	14
六、试验验证分析.....	16
七、其他应予说明的事项.....	17

一、任务来源

根据国家市场监管总局办公厅关于下达的《2021 年国家计量技术规范制定、修订及宣贯计划》的通知，由交通运输部公路科学研究所主持承担，中国计量科学研究院、北京市市政工程研究院、广东华路交通科技有限公司、中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所等单位承担国家计量技术规范《桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统》的制定工作。

二、编制背景

1、概要

进入 21 世纪，欧美等发达国家在多座大跨径桥梁上安装了光纤光栅应变传感器进行各种参数的监测，如美国的金门大桥，阳光大道桥，日本的明石海峡大桥、多多罗大桥，法国的诺曼底桥，英国的福斯桥，加拿大的泰勒桥等光纤式应变测量传感器拥有高采集频率、实时性好、耐腐蚀、耐高温、防爆、受外界环境小等优点进而被大量运用于桥梁健康监测工程实际当中。

当前我国已有多座大跨径桥梁使用了光纤光栅传感技术，如武汉市的晴川桥、武汉天兴洲公铁两用长江大桥、武汉阳逻长江公路大桥、武汉白沙洲大桥、苏通长江大桥，润杨长江大桥、江阴大桥、南京二桥、东海大桥、沪蓉西龙潭河大桥、沪蓉西四渡河大桥、岳阳洞庭湖大桥，香港青马桥、昂船洲桥等。

国内外相关研究成果均分别从不同的角度围绕光纤光栅应变传感器的某项数据或者工艺展开研究，并提出了对应的校准或者修正方法。但是，业界目前尚无一种能够广泛适用于不同传感器的普适性参数校准装置，也缺乏系统化、规范化的校准规程。对于新型研制的传感器，光纤光栅应变传感器静态的性能测试和试验分析是其运用于工程实际前的必然步骤，而目前针对应变传感器的计量测试方法及技术规范的研究还比较欠缺。我站结合前期试验测试经验编写本校准规范。为保证桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的量值准确可靠，和广泛应用，有必要制定相应的国家计量测试规范。

2、制定意义

据交通运输部公路局统计截止2017年，中国境内公路桥梁超过75万座，城市桥梁超过10万座，铁路桥梁超过7万座，桥梁健康监测系统的监测数据作为桥梁安全监测与维护的重要依据愈发重要。相对于其他工作原理的应变传感器而言光

纤式应变监测系统普遍的应用于桥梁健康监测系统。但是我国光纤事业起步较晚，导致至今还没有行之有效的标准或校准规范。由于工程大量的应用，国家道路与桥梁工程检测设备计量站收到了国内外诸多厂家及业主的校准需求。目前，相关工作均建立在试验、测试结果的数学处理与经验分析的基础上。缺乏理论上的提升、凝练与概括。在这一点上，国外相关高校、科研院所所做的工作在深度、广度上超过了国内相关机构。因此，国内急需对光纤光栅应变传感器的计量特性、影响因素及测量不确定度等方面开展更为深入扎实的研究工作，并通过标准及规范体系引导发展方向。

目前，光纤光栅应变监测系统的主要不足在于光纤为脆性材料，韧性差，弯折半径过小就会造成折断，弯曲半径小还会造成光泄露，信号功率变小，需特别注重光纤运输安装过程中的防护，而校准过程是验证防护性能是否完好的主要手段之一；此外，光纤光栅式应变传感器温度与应变交叉敏感，且温度的影响较大， 1°C 的温度变化引起波长漂移与 $10\mu\epsilon$ 的应变对光栅的作用效果相当，所以必须进行温度补偿，温度特性的测试也是校准过程的重要目的之一；另外，我国并未掌握光信号检测设备的核心技术，核心元器件依靠进口，所以光纤光栅应变监测系统信号检测设备价格高昂，也客观上导致光纤光栅应变监测系统的校准、测试目前缺乏统一的普适性平台与相关方法体系；标准光纤光栅应变监测系统有效应变长度为 100mm 左右，为实现校准系统指标要求，需要产生 μm 级的微小位移；为了实现传感器校准，同时需要施加较大（相对于直接拉伸裸光栅而言）的外部作用力，实现难度大、要求精度高。

业界正向着标准化、可移植、普适性的光纤光栅应变监测系统校准装置与校准规程方面努力。目前，国内外相关研究成果均分别从不同的角度围绕光纤光栅应变监测系统的某项数据或者工艺展开研究，并提出了对应的校准或者修正方法。通过本规范的制定可以有效支撑交通运输部十四五期间长大桥健康监测系统专项工作的同时针对该类传感系统提供系统化、规范化的量值溯源体系。

3、国内外研究现状

在计量技术规范方面，目前国、内外尚缺少行之有效的桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统相关的标准规范体系。本技术规范是现阶段桥梁结构监测系统全面推进和数字化基础设施升级的主要技术支撑。

光纤传感器拥有耐腐蚀、耐高温、防爆等优点进而被大量运用于工程实际当中。对于新型研制的传感器，光纤光栅应变监测系统静态的性能测试和试验分析是其运用于工程实际前的必然步骤，而现在针对应变传感器的标定研究还比较少^{[1]-[5]}。

针对这种情况，冯勇建^[6]设计并制作了由微机电系统(MEMS)工艺实现的微型梁式电容应变传感器，并对其进行测试，这种方法制作的电容应变器件具有良好的线性、较小的滞后和稳定的工作特性，其中应变灵敏度 10ttMPa，测量误差小于 1%Fs；袁子琳等人^[7]提出一种改进的光纤光栅应变监测系统结构，用有限元分析软件对其进行建模和静力仿真并进一步分析了其关键区域的 6 个结构参量对应变灵敏度及量程的影响，用 uV 胶与玻璃焊接对光栅进行封装，得到灵敏度分别为 249, 330, 1.1 pm/N，但并未讨论不确定度来源；何俊等人^[8]通过研制了基片表面粘贴式和玻璃钢(fiberglass reinforced plastics, FRP)封装式两种封装结构的灵敏度系数可调应变传感器，并对其进行误差分析，两种封装结构的量程分别增加 243%和 126%，精度提高至 0.51×10^{-6} 和 0.52×10^{-6} ，相关系数达到 0.999 以上^{[8]-[12]}。针对 FBG 应变传感器的标定问题，曹敏等人设计了一种量程为 700×10^{-6} 的 FBG 应变传感器标定装置，对其进行校准实验，并分析标定装置的不确定度，探讨其不确定度来源。运用最小二乘法对解调仪中的中心波长和计算得出的应变变量进行拟合，从而实现了对 FBG 应变传感器进行静态的测试和标定。郑卜祥等人根据时域内光栅脉冲宽度的测量值和精密轴系自由响应的动态特性，实现了单读数头下光栅分度误差的自标定和自校准。但这种方法对轴系运动控制的要求极高，在使用现场难以实现^[13]。山东大学王正方等人^[14]将传感器采用小弹性系数弹簧与测量光纤光栅串联方式进行标定测量，但标定系统的重复性不稳定。

综合来看，近几年来对光纤光栅应变监测系统的校准研究主要集中在两个方面，一是从解调系统硬件自身进行校准以期提高系统精度^{[15]-[21]}，二是通过相关仪器用比较法来对系统结果进行标定后修正结果^{[22]-[27]}。

从系统硬件校准的本质都是为系统设定一个固定的参考波长，一种方法是增加参考光栅模块，即在解调系统的一个扫描周期中，利用波长已知的参考光栅获得波长与位置的对应关系，进而得到二者之间的曲线拟合关系，然后根据待测传感光栅的位置反推得到波长，再根据传感光栅波长漂移与应变、温度的定标关系

实现解调^{[28]~[35]}：中国石油大学付建伟等人提出了一种设定处于恒温条件下的标准参考光谱通道的方法，利用高斯拟合算法实现对多个传感光栅的波长校准；武汉理工大学张翠等提出在解调器中采用两个标准光栅来进一步提高系统精度和稳定性，并对波长进行实验测量；陈亮等设计了一种带标记的热稳定标准具模块，将通道内被测传感器反射信号和标准具信号联系起来，通过线性插值实现校准解调；另一种方法是设定气室参考通道，利用已知吸收谱线的气体，如甲烷等提供一个固定的参考波长。相比较而言，由于气体吸收谱线几乎不受温度的影响，利用气体吸收谱线做参考能达到的精确度较高；但利用光纤光栅做参考通道在多数实验室环境中更容易实现，既能检验实时校准的可行性，也能保证一定的精确度，应用更为广泛。通过相关器具用比较法对测量结果进行标定，如中国计量学院虞倩在FBG人体测温传感器研制中，应用分辨率为0.1℃的水银温度计测定水浴温度作为标准温度来标定光栅温度传感器的测温结果；郭团等人在对Bragg光栅温度传感滞后性进行研究时，采用精度为0.5℃的数字温度计与FBG系统测温结果进行比较，分析滞后原因及规律；柴伟提出用高精度水银温度计实现对FBG温度传感器线性度、重复性和灵敏度的校准；高宏采用参考光栅提供一个基准波长，利用DS18B20电路实现标准温度采集。

用比较法实现测温结果的校准继承了计量校准溯源的一般方法，但是上述几种方案中采用的温度基准都不属于温度计量标准器，其测温结果不具有溯源性^{[36]~[41]}。

同时，各生产厂家在传感器出厂时会对系统进行标定^{[42]~[47]}，采用的一般方法是使用光谱仪和多波长计标定系统信号解调仪的波长输出信号，然后将光栅温度传感器放入恒温槽中，取温度量程中多个温度点进行温度标定，一般取量程最高点及最低点，得到传感器反射中心波长与温度的线性拟合公式，这种标定方法认为传感器反射波长与温度始终呈线性关系，没有考虑到Bragg光栅温度传感器在整个温度量程的温度特性^{[47]~[58]}；同时作为一种新型的可进行准分布式测温的光纤Bragg光栅温度传感器，在工程上主要被用来进行远距离多点监测，因此在其标定时不光要考虑单点的测温精度，同时还应该对其准分布式测量特性进行研究。

4、发展趋势及研究基础

总结当前的国内外发展现状，可以得到如下的发展趋势：

(1) 对光纤光栅应变监测系统的建模工作亟待加强，逐渐成为研究热点。

目前，相关工作均建立在试验、测试结果的数学处理与经验分析的基础上。缺乏理论上的提升、凝练与概括。在这一点上，国外相关高校、科研院所所做的工作在深度、广度上超过了国内相关机构。因此，国内需要光纤光栅应变监测系统的特性、敏感因素与测量不确定度方面进行更为深入扎实的建模工作。

(2) 业界正向着标准化、可移植、普适性的光纤光栅应变监测系统校准装置与校准规程方面努力。目前，国内外相关研究成果均分别从不同的角度围绕光纤光栅应变监测系统的某项数据或者工艺展开研究，并提出了对应的校准或者修正方法。但是，业界目前尚无一种能够广泛适用于不同传感器的普适性参数校准装置，也缺乏系统化、规范化的校准规程。

(3) 业界逐渐开始探索应用于实际工程中的光纤光栅应变监测系统的现场校准方法。许多应用于实际工程中的光纤光栅应变监测系统受制于应用环境、测试手段等的限制，无法在使用过程中实现定期的参数校准，这也是业界近几年提出的热门研究方向之一。

目前国内外针对桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统尚未有统一可行的计量技术方案，但随着行业的迫切需要，制定出对桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的计量技术方案势在必行。

5、参考文献

[1]毕卫红. 光纤应变传感器的研究现状与发展[J]. 激光与光电子学进展, 1999(12): 1-6.

[2]张森, 刘孟华, 王臻, 等. 光纤传感器的研究及应用[J]. 光通信研究, 2007(3): 62-65.

[3]赵立. 光纤传感器市场发展前景分析[J]. 光通信研究, 2014(1): 45-48.

[4] 李乐, 候正信. 光纤应变传感器的设计[J]. 电子测量与仪器学报, 2004, 18(4): 70-76.

[5]李之中, 李杰, 郑水华, 等. 位移、应变类传感器自动标定装置的研制[J]. 水

电自动化与大坝监测, 2012, 36(3): 54-57.

[6]冯永建. MEMS 电容应变传感器[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(3): 629-632.

[7]袁子琳, 龚元, 马耀远, 等. 光纤布喇格光栅应变传感器结构优化研究[J]. 光子学报, 2012, 41(11): 1261-1265.

[8]何俊, 周智, 董慧娟, 等. 灵敏度系数可调布拉格光栅应变传感器的设计[J]. 光学·精密工程, 2010, 18(11): 2339-2346.

[9] 国家质量技术监督局. JJG144-2007 工作测力仪检定规程[M]. 北京: 中国计量出版社, 2007.

[10]国家质量技术监督局. JJF1059. 1-2012 测量不确定度评定与表示[M]. 北京: 中国计量出版社, 2012.

[11]李川, 李英娜, 万舟, 等. 光纤传感技术[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 17-21.

[12]陈杰, 黄鸿. 传感器与检测技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2010: 5-9.

[13]郑卜祥, 宋永伦, 张东生, 等. 光纤 Bragg 光栅温度和应变传感特性的试验研究[J]. 仪表技术与传感器, 2008(11): 12-15.

[14]尹兴彬. 大量程光纤光栅位移传感器设计研究[D]. 青岛: 山东科技大学, 2012.

[15] Hill K O, Fujii Y, Johnson D C et al. Photosensitivity in optical fiber waveguide: application to reflection fiber fabrication. Appl. Phys. Lett. 1978,32(10):647~649.

[16] Meltz G, Morwy M M, Glenn W H, Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method. Opt. Lett. 1989,14(5):823~825.

[17] Hill K O. Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV expose through a phase mask. Appl. Phys. Lett. 1993,62(10):1035~1037.

[18] 朱晶晶, 蒋玉蓉, 薛唯. 光纤布拉格光栅激光器的传感应用[J]. 光学技

术.2008,(34):18-23.

[19] Giles C R. Lightwave applications of fiber Bragg gratings. *Journal of Lightwave Technology*,1997,15(8):1391-1404.

[20] KimS C, Kwon J J, KimS W, et al. Multiplexed strain sensor using fiber grating tuned fiber laser with a semiconductor Optical amplifier[J]. *IEEE photonics technology letters*, 2001, 13(4): 350-351.

[21] 董小伟, 许鸥, 鲁韶华等. 双光栅耦合器型上下话路滤波器的设计和实验[J]. *中国激光*, 2007, (8):1106-1109.

[22] Reyes P I, Litchinitser N, Sumetsky M, et al. 160-Gb/s tunable dispersion slope compensator using a chirped fiber Bragg grating and a quadratic heater. *IEEE Photonics Technology Letters*,2005,17(4),831-833.

[23] 恽斌峰. 布拉格光纤光栅应变监测系统理论与实验研究[D]. 东南大学, 2006.

[24] 郭金光. 罐群参量分布式光纤检测系统研究[D]. 大庆石油学院, 2006.

[25] 程树春, 张艳平. 光纤光栅漏油传感器在石油工业健康监测中的应用[J]. *应用光学*, 2008, (3):441-443.

[26] 张文涛, 孙宝臣, 杜彦良. 基于光纤光栅的青藏铁路冻土路基地温监测试验研究[J]. *石家庄铁道学院学报*, 2005, (4):49-51.

[27] Rao Y J, Jackson D A, Zhang L et al. Strain sensing of modern composite materials with a spatial/wavelength multiplexed fibre grating network. *Opt. Lett.* 1996, 21:683~685.

[28] 付建伟. 分布式光纤 Bragg 光栅波长校准方法[J]. *光学技术*.2006,32(6):903-905.

[29] 张翠. 标定方法提高布拉格光栅解调系统测量精度研究[J]. *激光与红外*.2006,36(6):483-486.

[30] 陈亮, 黄俊斌, 顾宏灿, 谭波. 一种实时校准的光纤 Bragg 光栅传感器解调系统[J]. *传感器与微系统*.2009,28(7):89-91.

[31] 郭团, 乔学光, 贾振安等. 光纤光栅传感技术及其在石油工业中的应用[J]. *测试技术学报*, 2004, (3):208-213.

[32] Hill D J, Nash P J, Jackson D A, etc. A fiber laser hydrophone array. Part of

the SPIE Conference on Fiber Optic Sensor Technology and Applications, Boston, 1999, SPIE Vol.3860, 55-66.

[33] Lissak B, Aire A, Tur M. Highly sensitive dynamic strain measurements by locking lasers to fiber Bragg gratings. *Optic Letters*, 1998, 3(24), 1930-1932.

[34] Patrick H, Williams G M, Kersey A D. Strain/temperature discrimination using combined fiber Bragg grating sensors. 11th national Conference on Optical Fiber Sensors, Sapporo, 1996, 96-99.

[35] Kogelnik H. Filter response of nonuniform almost periodic structures[J]. *Bell sys. Tech. J.* , 1976, 55(1), 109-126.

[36] Yamada M, Sakuda K. Analysis of almost periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach [J]. *Applied. Optics.* , 1987, 26 (6) , 3474-3478.

[37] Well-Brophy L A. Analysis of waveguide gratings: Application of Rouard's method[J]. *J. Opt. Soc. Amer. A*, 1985, 2 , 863-871.

[38] Gratten K T, Meggitt B T. *Optical Fiber Sensor Technology*. Boston, Kluwer Academic, 2000.

[39] Russell P S, Archambault J L, Reekie L. Fiber gratings. *Physics World*, 1993, 10, 41-46.

[40] Michel LeBlanc, Clay Kirkendall, Anthony Dandridge. Acoustic sensing using free and transducer-mounted fiber Bragg gratings[C]. 14th International Conference on Optical Fiber Sensors, A. G. Mignani and H. C. Lefevre, Editors, Proceedings of SPIE vol. 4185, 2000, 592-595.

[41] Kersey A D, Berkoff T A, Morey W W. Fiber Fabry-Perot demodulator for Bragg grating strain-sensors[C]. 9th International Conference on Optical Fiber Sensors, 1993, Florence, 39-42.

[42] Davis M A, Bellemore D A, Putnam M A, etc. A 60 element fiber Bragg grating sensor system[C]. 11th International Conference on Optical Fiber Sensors, Sapporo, 1996, 100-103.

[43] Kersey A D, Berkoff T A, Morey W W. Hight-resolution fiber-grating based strain sensor with interferometric wavelength-shift detection[J]. *Electronics*

Letters, 1992,28(3), 236-238.

[44] Koo K P, Kersey A D. Bragg Grating-Based Laser Sensors Systems With Interferometric Interrogation and Wavelength Division Multiplexing[J]. IEEE Journal of Lightwave Technology, 1995, 13(7), 1243-1249.

[45] R S Weis, A D Kersey, T A Berkoff. A four-element fiber grating sensor array with phase-sensitive detection[J]. IEEE Photonics Technology Letters, 1994, 6(12), 1469-1472.

[46] R Sephen Weis, Brent L Bachim. Source noise limits of interferometric phasesensitive detection of fiber Bragg grating sensors[C]. 14th International Conference on Optical Fiber Sensors, Italy, 2000, 74-77.

[47] Dupray V, Zeller M, Zhang W, etc. Novel UV post-processed fibre Bragg grating sensor for temperature and strain measurements. 14th International Conference on Optical Fiber Sensors, Italy, 2000, 9-12.

[48] Hill D J, Nash P J. Progress toward an ultra thin optical hydrophone array. SPIE, Vol.3483, 1998, 301-304.

[49] Xu M G, Reekie L, Chow Y T, Dakin J P. Optical in-fiber grating high pressure sensor[J]. Electronics Letters, 1993, 29(4), 398-399.

[50] Shajenko P, Flatley J P, etc. On fiber-optic hydrophone sensitivity. J Acoustics, 1978, 64(5), 1286-1289.

[51] Xu M G, Geiger H, Dakin J P. Fiber grating pressure sensor with enhanced sensitivity using a glass-bubble housing[J]. Electron Lett, 1996, 332(2), 128-129.

[52] N Takahahi, S Takahahi, K Tetsumura. Fiber-Bragg-grating underwater acoustic sensor[C]. 13th International Conference on Optical Fiber Sensors, B Y Kim and KHotate, Editors, Proceedings of SPIE vol.3746, 1999, 565-568.

[53] LeBlanc Michel, Kirkendall Clay, Dandridge Anthony. Acoustic sensing using free and transducer-mounted fiber Bragg gratings[C].14th International Conference on OpticalFiber Sensors, A. G. Mignani and H. C. Lefevre, Editors, Proceedings of SPIE vol.4185, 2000,, 592-595.

[54] Budiansky B, Drucker D C, Kino G S, etc. Pressure sensitivity of a clad optical fiber[J].Applied Optics, 1979, 18, 4085.

[55] Hughes R, Jarzynski J. Static pressure sensitivity amplification in interferometric fiberoptic hydrophones[J]. Applied Optics, 1980, 19(1), 98-107.

[56] Hill D J, Cranch G A. Gain in hydrostatic pressure sensitivity of coated fiber Bragg grating[J]. Electron Lett, 1999, 35(15), 1268-1269.

[57] Vohra S T, Dandridge A, Chang C C, etc. High sensitivity pressure sensors utilizing advanced polymer coatings[C]. 13th International Conference on Optical Fiber Sensors, Korea, 1999, 557-560.

[58] Vohra S T, Chang C C. High sensitivity fiber Bragg grating temperature sensors utilizing polymer coatings[C]. 14th International Conference on Optical Fiber Sensors, Italy, 2000, 584-586.

三、编制过程

1、编制原则

项目是在交通运输部长大桥健康监测系统建设的基础上，对国内外生产厂家、健康监测系统集成服务机构、业主单位、研究院、高校等单位进行了广泛的调研和征求意见。确定了技术指标和方法，形成了相关计量技术规范。编制原则如下：

（1）科学性

规范的编制，在国内外技术调研、理论分析及试验验证的基础上，科学规定桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的相关计量技术指标及测试方法。

（2）应急性

相关计量技术指标和测试方法适应于十四五期间交通运输部长大桥健康监测系统的专项工作的相关要求，在各省大量布设安装的背景下，开展了规范的编制工作，并对校准方法进行了大量的试验验证。

（3）适用性

规范的编制应充分考虑国内市场大多数仪器设备的测试需求，对国产设备和进口设备的技术特点具有共同的适用性。

2、工作进程

2021年5月规范制定计划下达，编制组立即着手进行任务分工，正式启动编

写工作。

首先进行资料搜集，汇总分析国内外与桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统相关的标准规程规范等；同时对相关桥梁结构规程及标准规范进行研读，并初步进行必要的试验验证。

2021年8月，第一编写人完成征求意见稿初稿，组织项目组进行内部讨论，明确需要进一步通过试验进行验证的计量要求和计量方法等技术内容。

2022年4月，开展相关试验验证，修改和完善征求意见稿。

2022年8月，开展征求意见，并将征求意见稿发送行业专业、生产厂家、检测机构等广泛征求意见。

3、人员分工

彭璐（交通运输部公路科学研究所）：负责规范的统筹。

崔建军（交通运输部公路科学研究所）：负责试验方法研究及组织试验验证。

荆根强（交通运输部公路科学研究所）：负责规范的理论分析。

刘倡（交通运输部公路科学研究所）：负责计量方法的研究。

文龙（北京公联洁达公路养护工程有限公司）：负责部分试验验证工作

王子彬（广东华路交通科技有限公司）：负责测量不确定度评定、附录编制。

宋昊（中国航空工业集团公司北京长城计量测试技术研究所）：负责试验方案建立。

四、编制依据

本规范编写格式参照依据 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》、JJF 1059.1-2012《测量不确定度评定与表示》进行制定。同时引用了以下标准规范：

JT/T 1037 公路桥梁结构安全监测系统技术规程

GB 50982 建筑与桥梁结构监测技术规范

GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标计算方法

五、主要技术内容的论据

按照 JJF 1071-2010《国家计量校准规范编写规则》要求，本规范包括 8 个章节和 4 个附录，主要章节有 1 范围、2 引用文件、3 概述、4 计量特性、5.校准条件、6 校准项目和方法、7 校准结果、8 复测，以及附录 A 原始记录格式、附录 B 测试报告内容、附录 C 测量不确定度示例、附录 D 光纤光栅式应变测量系统校准装置。

1. 概述

桥梁结构健康监测用光纤光栅静态应变测量系统是用于结构物应变测量的设备，是 JT/T 1037 和 GB 50982 中应变监测要求的主要监测系统

光纤光栅技术是利用紫外曝光等技术在光纤芯中引起折射率的周期性变化而形成的。光纤光栅中折射率分布的周期性结构，导致某一特定波长光的反射，从而形成光纤光栅的反射谱。光纤光栅式应变计是由连接器、光纤光栅、应变或裂缝转换装置、保护组件构成。装置的目的是将应变或微裂等外部参数转换为光纤光栅波长的变化，通过解调仪测出其当前波长，再经过计算求出其应变值。

桥梁结构健康监测用光纤光栅静态应变测量系统主要由应变传感器、解调仪、安装座、弹性元件、光源信号发射及采集端口、光缆、外壳等部分组成，其主要结构如图 1 所示。

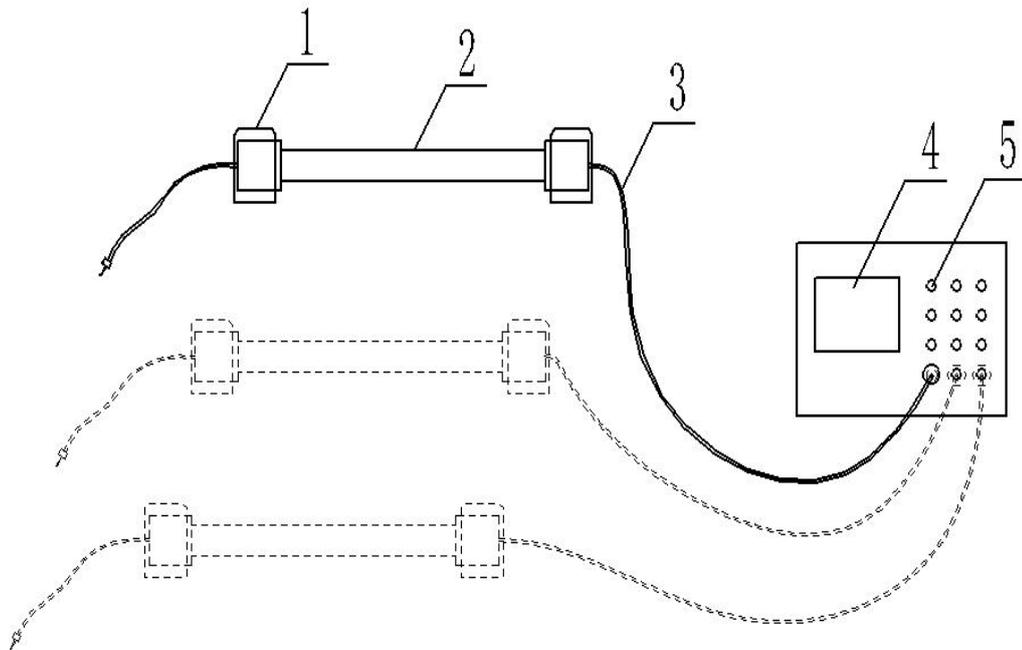


图 1. 桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统结构示意图

1——安装座；2. 外壳；3. 光纤线缆；4. 显示屏；5. 光源信号发射及采集端口。

编写组经过与专家、业主单位、主管机构和生产厂家调研后，形成了以下的计量特性：

a) 应变测量示值误差

桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的测量示值误差建议应

不大于±1%

b) 应变测量重复性

桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的重复性建议应不大于0.5%。

c) 温度测量示值误差

桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的测量温度示值误差建议应不大于0.5℃。

为实现以上指标的验证，编写组经过大量试验以后确定采用光纤光栅式应变测量系统校准装置和恒温槽及温度计的方式进行校准，具有以下优势，一是便于工程量的直接表征和溯源，二是便于对温度性能进行验证。

六、试验验证分析

规范编写过程中，在实验室内及现场均对桥梁结构健康监测用光纤光栅式静态应变测量系统的计量特性所涉及的具体指标进行了试验验证，并与生产厂家和监测机构开展了广泛调研，确定指标可以服务于现阶段计量测试工作。测试环境如下图：

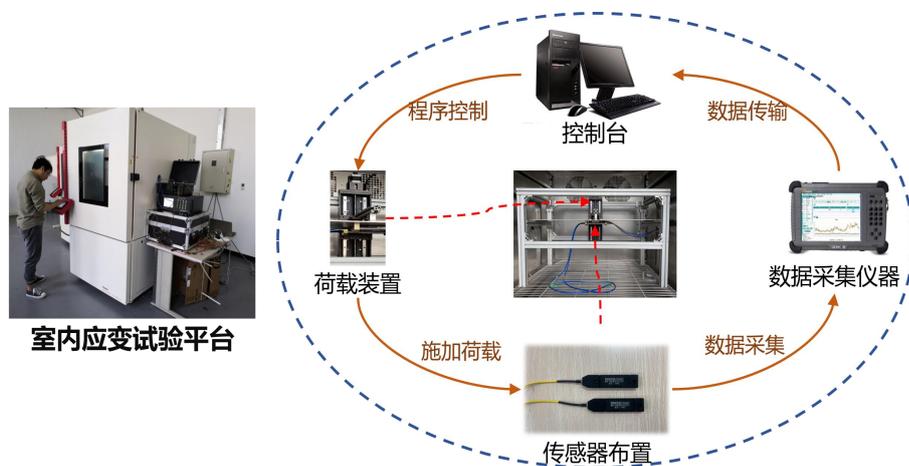


图 2.实验室试验平台



图 7.疲劳试验模拟试验



图 8.实桥试验

七、其他应予说明的事项

无