中国公路建设行业协会标准

公路基础设施监测用传感器：使用性能工程试验验证

Sensors for highway infrastructure monitoring: Performance engineering test validation

征求意见稿

目次

前言 I

引言 II

1 总则 1

2 规范性引用文件 1

3 术语及定义 1

4 传感器分类与性能 3

4.1 一般规定 3

4.2 公路基础设施监测用传感器分类 3

4.3 公路基础设施监测用传感器性能要求 3

5 公路基础设施监测用传感器工程试验验证方法 5

5.1 一般规定 5

5.2 传感器外观检查 6

5.3 传感器基本功能检查 6

5.4 传感器性能工程试验验证方法及适用范围 7

5.5 传感器静态指标的模型试验验证方法 7

5.6 传感器静态指标的现场试验验证方法 8

5.1 寿命验证方法 8

6 路基础设施监测用传感器合格判定标准 9

6.1 传感器主要性能指标计算方法 9

6.2 传感器使用性能合格判定标准 11

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。

本标准根据中国公路建设行业协会《关于下达<装配式公路钢桥桥墩>等32项协会标准的编制通知》（中路建协﹝2023﹞107号）的要求制定。

请注意本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国公路建设行业协会提出并归口。

本文件主要起草单位：交通运输部公路科学研究所。

本文件参与起草单位：

本文件主要起草人：李鹏飞。

本文件参与起草人：毛燕、董振华、魏思聪、韩旭、于锦添。

引言

公路基础设施监测用传感器是能感知结构被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律变换成为电信号或其他所需形式的信息输出，以满足信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求的检测装置，是感知结构状态参数的重要工具。随着我国公路基础设施健康监测系统、智慧交通建设、安全监测与预警系统、高速公路传感监测网络布设等领域的进一步提质升级，对监测用传感器的准确性、可靠性、使用寿命提出了更高的要求。通过开展公路基础设施监测用传感器使用性能工程试验验证，对相关传感器的技术创新、布设方案优化，进一步提高监测系统的效率和准确性具有重要意义。

本标准考虑公路基础设施监测用传感器实际应用场景及使用需求，为传感器使用性能的工程试验验证提供标准化指导，确保其在实际服役条件及应用环境中的可靠性、准确性和稳定性，满足行业标准和用户需求。

本标准涉及的几种公路基础设施监测用传感器性能及验证要求参照JG/T+421-2013 土木工程用光纤光栅温度传感器、JG/T+422-2013 土木工程用光纤光栅应变传感器、GB/T 13992-2010 金属粘贴式电阻应变计及相关文件执行。

# 总则

1.1本标准规定了公路基础设施监测用传感器使用性能工程试验验证的术语、定义、分类与性能、工程试验验证方法、合格判定标准等。

1.2本标准适用于分布式光纤应变传感器、分布式光纤温度传感器、薄膜应变传感器等公路基础设施监测常用传感器，传感器的布设方式主要包括表面贴敷式和埋入式等。其他类型传感器的使用性能验证可参照本标准要求执行。

1.3 本标准涉及的公路基础设施范围包括公路桥梁、涵洞、隧道、道路等。

# 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。

GB/T 7665-2005 传感器通用术语

GB/T 18901.1-2002 光纤传感器 第1部分：总规范

GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标计算方法

GBT 33905.1-2017 智能传感器 第1部分：总则

GBT 33905.3-2017 智能传感器 第4部分：性能评定方法

JG/T+421-2013 土木工程用光纤光栅温度传感器

JG/T+422-2013 土木工程用光纤光栅应变传感器

GB/T 2423-2008 电工电子产品环境试验

GB/T 18459-2001 传感器主要静态性能指标计算方法

JT/T 1037-2022 公路桥梁结构监测技术规范

GB/T 13992-2010 金属粘贴式电阻应变计

# 术语及定义

3.1 分布式光纤应变传感器 Distributed optical fiber strain sensor

用于对沿光纤传输路径上的结构物相对变形空间分布和随时间变化信息进行测量或监控的传感器。

3.2 分布式光纤温度传感器 Distributed optical fiber temperature sensor

用于对沿光纤传输路径上的物体冷热程度空间分布和随时间变化信息进行测量或监控的传感器。

3.3 薄膜式电阻应变传感器 Diaphragm-type resistance strain sensor

用金属电阻体作为敏感栅，固定在试件上感知应变变化的传感器。

3.4 使用性能 Work performance

传感器布设到公路基础设施后，其感知量测参数的状态。

3.5 工程试验验证 Engineering test verification

针对工程实际服役条件，对传感器与结构耦合后的使用性能开展的试验验证工作。

3.6 准确度 Accuracy

测量结果与被测量的真值之间的一致程度。

3.7 重复性 Repeatability

在相同测量条件下，对同一被测量进行连续多次测量所得结果之间的一致性。

3.8 线性度 Linearity

正、反行程实际平均特性曲线相对于参比直线的最大偏差，用满量程输出的百分百来表示。

3.9 回程误差 Hysteresis

在输入量作满量程变化时，对于同一输入量，传感器的正、反行程输出量之差。

3.10 使用寿命 Service life

传感器与结构耦合后，能够稳定感知量测参数，且使用性能满足使用性能要求的工作时间。

# 传感器分类与性能

## 一般规定

### 应针对公路路基路面、桥梁、隧道等结构物的不同监测需求，选用不同类型和量程的传感器。

### 传感器在监测期间应具有良好的稳定性和抗干扰能力，工作性能应满足实际工程需要。

### 应根据传感器类型，选择操作方便、稳定性好且精度合适的数据采集设备，保证监测数据的准确性。

### 监测用传感器的工作范围宜为满量程的20%～80%，且最大工作状态不应超过满量程。

### 传感器布设前应做好标定与校准。

## 公路基础设施监测用传感器分类

### 按输入量（被测参数）分，公路基础设施监测用传感器主要分为：位移传感器、速度传感器、温度传感器、湿度传感器、压力传感器、加速度传感器等。本标准主要涉及应变传感器和温度传感器工程试验验证。

### 按工作原理分，公路基础设施监测用传感器主要分为：电阻式传感器、光纤式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、磁敏式传感器、热电式传感器、光电式传感器等。本标准主要涉及电阻式传感器和光纤传感器工程试验验证。

## 公路基础设施监测用传感器性能要求

### 分布式光纤温度传感器主要性能指标

表4.3-1主要性能参数

|  |  |
| --- | --- |
| 性能参数 | 指标 |
| 测量范围/℃ | -40 ~ +90 |
| 误差/℃ | ≤±0.5 |
| 分辨率/℃ | 0.1 |
| 重复性/% | ≤±0.5 |
| 线性度 | ≤0.1% F.S |

分布式光纤温度传感器其他性能要求符合JG/T 421-2013。

### 分布式光纤应变传感器主要性能指标

表4.3-2主要性能参数

|  |  |
| --- | --- |
| 性能参数 | 指标 |
| 测量范围/με | -2000 ~ +2000 |
| 综合误差/με | ≤±1.0% F.S |
| 分辨率/με | ≤2 |
| 重复性/% | ≤0.5 |
| 线性度 | ≤0.2% F.S |

分布式光纤应变传感器其他性能要求符合JG/T 422-2013。

### 电阻应变式薄膜传感器主要技术指标

表4.3-3 主要性能参数

|  |  |
| --- | --- |
| 性能参数 | 指标 |
| 应变计电阻偏差/% | ≤±2.0 |
| 室温下绝缘电阻/MΩ | 103 |
| 测量范围/με | -2000 ~ +2000 |
| 综合误差/με | ≤±1.0% F.S |
| 分辨率/με | ≤1.0 |
| 重复性/% | ≤0.5 |
| 线性度/% | ≤0.1 F.S |

电阻应变式薄膜传感器其他性能要求符合GB/T 13992-2010。

### 公路桥梁监测用传感器的性能还应符合JTT1037-2022要求。

# 公路基础设施监测用传感器工程试验验证方法

## 一般规定

### 应根据监测对象、监测内容、监测参数确定公路基础设施监测用传感器的型号、数量及布设方案。

### 传感器安装工艺应满足厂家规定的正常工作条件要求，在被测试对象中布设时，应与被监测对象耦合完好，且不应对被监测对象造成较大损伤。

### 传感器工程试验验证是传感器与结构按实际服役条件耦合后，在特定条件下根据标准仪器产生已知的输入量并输入到待验证的传感器中，然后将被验证传感器的输出量与输入标准量进行比较，从而获取其使用性能。

### 传感器工程试验验证项目需满足表5.1-1要求。

表5.1-1 测试及验证项目

|  |  |
| --- | --- |
| 序号 | 项目 |
| 1 | 外观检查 |
| 2 | 基本功能检查 |
| 3 | 静态指标 | 线性度 |
| 4 | 重复性 |
| 5 | 精度 |
| 6 | 回程误差 |
| 7 | 动态指标 | 使用寿命 |

### 可根据每种传感器的测试内容、具体特性选择试验验证项目，开展试验的顺序应保证试验结果不受前一个试验的影响。

### 试验前对传感器进行通电预热，并对传感器参数进行适当调整，试验过程中不应再作调整。

### 任何一种传感器在装配完后都必须按设计指标进行严格的性能鉴定；使用一段时间以后或经过修理，也必须对其主要技术指标进行校准试验，以确保其性能指标达到要求。

## 传感器外观检查

### 布设完成后的传感器外观应符合下列要求：

1）外观完整、整洁，附属件、活动件稳固，无明显划痕或涂层缺陷；

2）操作标识清晰完整，显示指示清晰无缺损，铭牌信息完整；

3）传感器各组件装配正确，连接可靠，零件无缺损；

4）对外连接的机械接口、电气接口正确。

### 外观检查方法：

1）目测检查：操作者应具有正常视力和颜色分辨力，并选择在有利的观察距离和适当的照度下进行。

2）用放大镜检查：如有必要或传感器使用说明中有规定时，可使用放大镜进行检查。

## 传感器基本功能检查

### 应根据制造商提供的使用说明书、操作手册等文件，对传感器进行基本功能检查。

### 输入阻抗检查：对于无源电路的传感器，在传感器输出端开路情况下，用数字万用表或相应仪表测量其输入端的阻抗。

### 绝缘电阻检查：在被测试传感器不施加激励电源条件下，用绝缘电阻测试仪或相应仪表给传感器施加规定的支流电压，测出传感器引出端与壳体之间的绝缘电阻。

### 光纤连通性检查；可使用光纤测试仪对光纤传感器的通断进行检查。

### 光功率检查：应采用可追踪校准的光功率计测量光功率。

### 标称波长和适当的频谱特性：应采用可追踪校准的光波计测量激光器标称波长。应采用可追踪校准的光频谱分析仪测量宽带光源的标称波长。

## 传感器性能工程试验验证方法及适用范围

### 为模拟传感器实际服役环境及布设效果，传感器的静动态指标宜采用现场试验方法进行验证。

### 不具备现场验证条件的传感器可采用缩尺试件进行试验验证，试件材料及模拟环境要与传感器服役的实际条件符合相似关系。

### 传感器与结构耦合寿命试验宜通过缩尺试件开展加速加载及环境应力施加的方法开展试验验证。

## 传感器静态指标的模型试验验证方法

### 模型选取应按以下原则：

（1）试验模型应尽可能选择大比例模型，模型材料与实际结构保持一致。

（2）传感器布设工艺应与实际工程中保持一致。

（3）传感器布设位置及受力状态应与实际工程中相同。

### 模型试验验证方法

（1）试验环境条件：温度：15℃-35℃；相对湿度：30%-85%；大气压力：86kPa-106kPa；除地磁场外应无其他外界磁场，且无机械振动影响。其他环境要求满足GB/T 18271.1-2017要求。

（2）开展传感器性能验证试验前，将传感器预热0.5h后进行试验。

（3）试验过程中应在每一个方向上全范围的进行3个循环测量。在每个循环的全范围内至少应分布5个测点，输入信号以不超过20%步长稳定无过冲地从0%缓慢增大到结构正常使用状态下的最大值，然后回到0%。当零点或100%点是不能超越的固定值时,零点和量程迁移可在如2%和98%处测量。

（4）输入量每变化一步后,应使构件达到稳态状态。然后记录每步输入、输出信号的相应值。

（5）输入标准量测量

输入标准量可采用标准传感器检测得到，标准传感器的测量精度高于被验证传感器测量精度至少一个等级。标准传感器量程为被验证传感器满量程的125%-500%，试验输入信号应连续可调，其误差应不超过被验证传感器允许误差的1/5。

## 传感器静态指标的现场试验验证方法

### 为反映实际结构受力状态及环境特点，可通过在实际工程结构或足尺试验构件上开展加载试验的方法对工程现场布置的传感器性能开展试验验证。

### 工程原位比对试验法

对被测试结构施加动态或静态作用，过程中按5.5.2规定，采用分级加载试验方法测量被测传感器和对比传感器的输出值，并计算被测传感器相关性能指标。

### 足尺结构加载验证法

模拟传感器实际服役环境及荷载情况，通过足尺验证试件进行传感器模拟实际环境条件下的加载，加载过程中过程中按5.5.2规定，测试传感器输入及输出情况，并计算传感器性能指标。

### 结构响应真实值获取方法

（1）在被测试传感器受力状态相同的附近位置布设对比传感器，对比传感器性能满足5.5.2条对精度和量程的要求。

（2）可采用高精度非接触测量等手段获得被测试传感器位置的测试量真实值，高精度非接触式测量装置最大允许误差满足5.5.2条对精度和量程的要求。

（3）采用数值模拟及理论分析方法获得被测传感器布设部位的被测量理论值，通过理论值与传感器实测值对比，用于验证公路基础设施传感器的工作性能。

## 寿命验证方法

### 传感器寿命验证可通过模型疲劳加载试验方法开展，条件具备时应采用环境-荷载耦合加载试验装置进行试验。

### 加载次数及应力幅的确定：应根据传感器布设位置实际交通量调查与分析，确定公路基础设施每年的等效加载轴次及轴重，并根据轴重换算模型试验加载应力幅值。加载次数及应力幅的确定宜经过专家论证。

说明：当无相关资料时，可参考JTG D40-2011中3.0.7条，公路水泥混凝土路面在设计基准期30年内按重交通量设计时，车道承受设计轴载（100kN）累计作用次数为106-2×107次。可以偏保守的估计，每年设计轴载作用次数为67万轴次。

### 环境影响模拟方法：当具备环境-荷载耦合实验条件时，根据传感器服役环境统计资料，将温度、湿度、氯盐侵蚀等环境影响，按照每年的等效加载时间与荷载一同施加到被测试结构上。

### 寿命验证试验方法

（1）将试件安装到专用的疲劳试验机上，按经过论证的输入荷载、循环次数和变化频率进行循环加载，具备条件的可同步施加环境影响，每循环一定次数后，按规定进行被测试传感器性能测试。

（2）加载装置应保证输入量连续可调，试件在弹性工作范围内，试件应连续或逐步变形，直到达到目标应变。输入应变变化不大于0.5%。

（3）当传感器无信号输出或传感器输出误差超过10%时，即认为传感器发生疲劳损坏。

（4）进行加速寿命试验应确保被测试传感器的安装工艺及受力状态相同，试验变量参数应该选取引起产品失效的主要因素。

# 路基础设施监测用传感器合格判定标准

## 传感器主要性能指标计算方法

### 线性度

线性度是指传感器的输出与输入间成线性关系的程度，其计算公式为：



-非线性误差（线性度指标）；-最大非线性绝对误差；-满量程输出。

### 重复性

重复性表示传感器在输入量按同一方向做全量程多次测试时，所得输入-输出特性曲线的一致程度，也称为重复误差。其计算公式为：



-输出最大不重复误差；-传感器满量程输出。

### 准确度

准确度也称静态误差，是传感器在满量程内任一点的测量输出值相对被测量理论值（真值）的偏离（或逼近）程度。其计算公式为：



### 回程误差

回程误差计算公式为：



-第i个测量点上的回程误差；-第i个测量点上3次上行程传感器输出值的算数平均值；-第i个测量点上3次下行程传感器输出值的算数平均值；-满量程时传感器的输出值。

### 传感器其他主要静态性能指标计算方法参考GB/T 18459-2001。

## 传感器使用性能合格判定标准

### 传感器安装完毕后外观检查应满足5.2要求，任一项指标不满足的即判定该传感器不合格。

### 传感器的基本功能检查应满足传感器出厂性能要求及相关规范要求，不满足的即判定该传感器不合格

### 传感器的静态被测试指标应符合4.3节要求，且满足传感器标称性能指标或相关技术标准规定的要求。传感器的任一项指标不满足4.3节要求或相关技术标准规定的要求，即判定该传感器不合格。

### 对同一类型传感器按规定的检查方法和频率进行随机抽样检查，每一类型传感器抽检不少于三个。

### 被测试传感器中任意一只最先达到疲劳损坏的循环次数即为该批次或该型号传感器的疲劳寿命。根据JT/T 1037-2022，预埋在结构内部的传感器使用寿命应不低于20年，附着安装在结构上的非埋入式传感器的使用寿命应不低于5年。