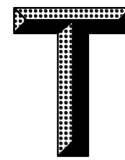


ICS 35.020
CCS I 653



团 体 标 准

T/CI 1162—2025

桥梁风险实时分布式监测预警技术规范

Technical specification for real-time distributed monitoring
and early warning of bridge risks

2025-09-01 发布

2025-09-01 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 基本规定	3
5 全光型风险监测预警系统	4
6 分布式光纤传感器	5
7 信号解调仪	6
8 分布式光纤传感器安装	9
9 解调仪、报警主机安装	10
10 性能测试	11
11 风险监测预警平台要求	15
12 验收	18
13 运行和维护	19
附录 A(资料性) 验收报告模板	20

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。

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。

本文件由百世通(浙江)安全科技有限公司提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：百世通(浙江)安全科技有限公司、中电系统建设工程有限公司、东南大学、北京工业大学、中国科学院合肥物质科学研究院、山东大学、中铁科学研究院集团有限公司、宁夏公路工程质量检测中心(有限公司)、清华大学、北京航天控制仪器研究所、武汉理工大学、武理加固检测(武汉)有限公司、深圳市海塞姆科技有限公司、海南大学。

本文件主要起草人：缪宏、彭敏、马涛、丁珣昊、焦峪波、梁明、汤玉泉、高红兵、吴潇、杨华中、杨勇、祁耀斌、符晶华、郑晓伟、胡俊、李金、张志荣、胡安庆、陈瑾、王鹏军、梅影、缪文韬。

桥梁风险实时分布式监测预警技术规范

1 范围

本文件规定了桥梁风险实时分布式监测预警技术的基本规定、全光型风险监测预警系统、分布式光纤传感器、信号解调仪、分布式光纤传感器安装、解调仪、报警主机安装、性能测试、风险监测预警平台要求、验收、运行和维护。

本文件适用于利用全光型风险监测预警系统监测桥梁的温湿度变化、风荷载、车辆荷载、振动(声音)、形变、裂缝变化及桥面系和上下部结构等场景。

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/T 2423.1 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验A:低温
- GB/T 2423.2 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验B:高温
- GB/T 2423.3 环境试验 第2部分:试验方法 试验Cab:恒定湿热试验
- GB/T 2423.4 电工电子产品环境试验 第2部分:试验方法 试验Db:交变湿热(12 h+12 h循环)
- GB/T 2423.17 环境试验 第2部分:试验方法 试验Ka:盐雾
- GB/T 2887 计算机场地通用规范
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
- GB 4706.1 家用和类似用途电器的安全 第1部分:通用要求
- GB 4793.1 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/T 7424.21 光缆总规范 第21部分:光缆基本试验方法 机械性能试验方法
- GB/T 7424.22 光缆总规范 第22部分:光缆基本试验方法 环境性能试验方法
- GB/T 9361 计算机场地安全要求
- GB/T 9771.1 通信用单模光纤 第1部分:非色散位移单模光纤特性
- GB/T 9771.3 通信用单模光纤 第3部分:波长段扩展的非色散位移单模光纤特性
- GB/T 12357.1 通信用多模光纤 第1部分:A1类多模光纤特性
- GB 16280 线型感温火灾探测器
- GB/T 16529.3 光纤光缆接头 第3部分:分规范 光纤光缆熔接式接头
- GB/T 17626.2 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验
- GB 19517 国家电气设备安全技术规范
- GB/T 22239 信息安全技术 网络安全等级保护基本要求
- GB/T 22690 数据通信设备通用机械结构 机柜和插箱
- GB/T 34068 物联网总体技术 智能传感器接口规范
- GB/T 43245 智慧城市基础设施 数据交换与共享指南
- CJJ/T 100 城市基础地理信息系统技术标准
- YD/T 814.1 光缆接头盒 第1部分:室外光缆接头盒
- YD/T 1537 通信系统用户外机柜

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

全光型风险监测预警系统 all-optical monitoring and forewarning system

包括全光感知的分布式光纤传感器、信号解调仪和风险监测预警平台三部分,监测的物理量包括振动(声音)、应变(变形)、温度、位移等的系统。

注:全光型是指安装在现场的分布式光纤传感器无源、本质安全。

3.2

分布式光纤传感器 distributed optical fiber sensor

实现分布式应变(变形)、温度、振动(声音)传感功能的光纤传感器。

注:包含一芯或多芯光纤和必要的保护层,简称光纤传感器。

3.3

分立式光纤传感系统 discrete optic fiber sensor

由多个点式传感器[倾角、加速度、位移、温度、应变(变形)等]通过光纤连接形成的传感系统。

3.4

分布式光纤应变(变形)信号解调仪 distributed fiber optic strain(deformation)signal demodulator

能发射探测激光脉冲,接收反馈信号,并转换为沿分布式光纤传感器不同位置的应变(变形)信号变化数据,实现应变(变形)测量及定位的装置。

3.5

分布式光纤温度信号解调仪 distributed fiber optic temperature signal demodulator

能发射探测激光脉冲,接收反馈信号,并转换为沿分布式光纤传感器不同位置的温度信号变化数据,实现温度测量及定位的装置。

3.6

分布式光纤振动(声音)信号解调仪 distributed fiber optic vibration(sound)signal demodulator

能发射探测激光脉冲,接收反馈信号,并转换为沿分布式光纤传感器不同位置的振动(声音)信号变化数据,实现外界对桥梁的机械性外力危害事件产生的振动(声音)识别及定位的装置。

3.7

分布式光纤传感器米标 distributed fiber optic sensor meter markers

在分布式光纤传感器外护层表面按1 m间隔逐一标注分布式光纤传感器长度的标识。

3.8

最大监测距离 maximum monitoring distance

应变(变形)、温度、振动(声音)信号解调仪的单个通道能够监测的最大长度。

3.9

单通道测温时间 single channel temperature measurement time

解调仪单次采集单通道光纤传感器长度内所有数据所需要的时间。

3.10

异常事件识别 abnormal event identification

对危及桥梁安全的事件性质的识别,判断异常事件的种类和性质。

3.11

误报 misinformation

异常事件未客观产生,但全光型风险监测预警系统发出异常事件报警。

3.12

漏报 underreporting

异常事件已经客观产生,但全光型风险监测预警系统未发出异常事件报警。

3.13

风致振动 wind-induced vibration

由风的作用导致的结构振动。

注:风致振动的类型包括自激振动(颤振、驰振)和限幅振动(涡激振动、抖振、风雨激振、尾流驰振)。

4 基本规定

4.1 一般要求

4.1.1 监测之前应充分收集有关于桥梁的资料。

包括但不限于如下内容:

- a) 桥梁设计图纸;
- b) 桥梁施工方案;
- c) 桥梁周边环境与交通情况;
- d) 桥梁检测、养护记录;
- e) 桥梁沿线路灯、护栏等附属设施及供电线路情况调研。

4.1.2 应进行现场核查,确保收集资料的真实性、准确性。

4.1.3 应与桥梁权属单位及管养单位确认监测需求。

4.2 监测内容

具体监测内容见表1。

表1 桥梁监测内容

监测类别	监测内容	
环境	温度、湿度	桥址环境温度、相对湿度
		桥面温度、相对湿度
		斜拉索温度、相对湿度
		温度、相对湿度差距大的部位
		温度、相对湿度敏感部位
	风荷载	风速、风向
		风压
	振动	风致振动(颤振、驰振、涡激振动、抖振、风雨激振、尾流驰振)
		车辆振动
	自然灾害	地震
飓风		
极端高低温		
人为	车辆荷载	车辆超限(超载、超速)
		车辆空间分布

表 1 桥梁监测内容（续）

监测类别		监测内容	
人为	船舶/车辆撞击	桥面护栏的位移、振动、变形等	
		桥墩的位移、振动、变形等	
	施工	桥梁本体的振动	
结构	桥面系	桥面	桥面铺装层和桥板层位移、开裂、变形、振动等
		伸缩缝	伸缩缝的裂缝、变形、磨损
	上部结构	斜拉索	索力监测,可能发生的断裂、滑丝、松动、腐蚀等
		主梁	位移、损伤、变形
	下部结构	桥墩、桥台	位移、倾斜、被撞击、水毁、损伤
		基础	沉降、倾斜、冲刷、损伤、水毁、损伤
		支座	位移、水毁、损伤、变形

4.3 数据采集

- 4.3.1 振动(声音):采集桥梁的振幅、频率、强度等参数。
- 4.3.2 应变(变形):采集桥梁的应变(变形)值、应变(变形)率等参数。
- 4.3.3 温度:采集并分析桥梁桥面的温度变化趋势、温度变化速率。
- 4.3.4 位移:采集并分析桥梁桥面、桥桩、支座等关键部位的位移数据。
- 4.3.5 其他数据:采集桥梁监测所需的其他数据。

5 全光型风险监测预警系统

5.1 组成

5.1.1 全光型风险监测预警系统监测的物理量包括测应变(变形)、温度、振动(声音)、位移等。全光型风险监测预警系统构成示意图见图1。

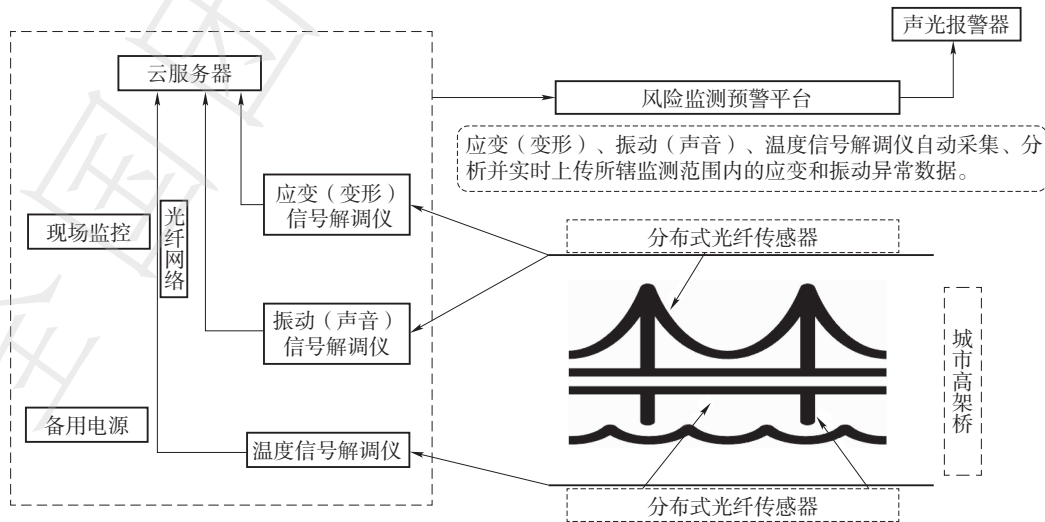


图 1 全光型风险监测预警系统构成示意图

5.2 基本功能

全光型风险监测预警系统应具备下列基本功能：

- a) 应变(变形)、温度、振动(声音)信号解调仪通过分布式光纤传感器采集的桥梁的应变(变形)、温度、振动(声音)信号,进行解析识别并编码成为特征信息数据,传递给全光型风险监测预警系统平台；
- b) 同一监测通道可在不同区域分别设置不同的报警值,并可在同一区域内同时发出多个异常事件报警,对异常事件实现精准定位；
- c) 应变(变形)、温度、振动(声音)信号解调仪完成一次边缘计算数据处理,实时上传所辖监测范围内的应变(变形)、温度和振动(声音)异常数据到监测预警系统；
- d) 监测预警系统结合地理信息系统(GIS),直观显示异常状态点的坐标位置；
- e) 监测预警系统自动存储及备份采集的数据；
- f) 监测预警系统通过人工智能技术进行二次数据处理,对异常事件做出预警；
- g) 监测预警系统与其他物联网平台的数据交换；
- h) 监测预警系统应具备故障冗余和容错能力,支持关键部件或信道的备份切换,以保障系统在发生突发故障时的持续稳定运行；
- i) 监测预警系统应充分考虑结构物运维单位的实际需求,预留相关数据的接入接口。

6 分布式光纤传感器

6.1 分布式光纤传感器

6.1.1 分布式光纤传感器结构是由一根或多根单(多)模光纤和外防护层组成。

6.1.2 分布式光纤传感器护套应采用低烟、无毒、无卤、耐高温材料；特殊环境应采用防啃齿类动物和白蚁破坏的材料。

6.1.3 分布式光纤传感器物理性能应符合表2的规定,测试方法按GB/T 7424.21、GB/T 7424.22和GB 16280的规定执行。

表2 分布式光纤传感器物理性能

性能		指标
光纤	光纤类型	单模 G657A2
	光纤芯数	≥2 芯
	光纤结构	紧包光纤
	有效群折射率	1.467 5(1 310 nm)
1.468 0(1 550 nm)		
耐温要求	使用环境温度	-40 ℃~+80 ℃
允许拉伸力	外表面敷设	长期 300 N
		短期 600 N
	内部空间敷设	长期 2 000 N
		短期 3 000 N

表2 分布式光纤传感器物理性能(续)

性能		指标
允许压扁力	外表面敷设	长期 2 000 N/10 cm
		短期 3 000 N/10 cm
	内部空间敷设	长期 2 000 N/10 cm
		短期 3 000 N/10 cm
最小弯曲半径	静态	$\geq 20D$
	动态	$\geq 30D$
抗冲击	冲锤重量 450 g, 落锤高 1 m	光纤残余附加衰减 < 0.03 dB
	外观	冲击后外护套无目力可见损伤和开裂
注: D 为分布式光纤传感器直径。		

6.1.4 分布式光纤传感器外表面应有分布式光纤传感器米标,并应符合下列要求:

- 计米长度的误差应在 0%~1%,实际长度不应短于计米长度;
- 计米标志应连续并间隔 1 m;
- 计米标志可以从非零的数字开始;
- 在整个分布式光纤传感器交货段长度中,计米标志不应跨越零。

6.1.5 多模光纤应符合 GB/T 12357.1 的规定,单模光纤应符合 GB/T 9771.1 或 GB/T 9771.3 的规定,光纤损耗应符合表 3 的规定。

表3 光纤损耗

类型	损耗/(dB/km)
1 310 nm 单模	≤ 0.35
1 550 nm 单模	≤ 0.21
850 nm 多模	≤ 2.50
1 300 nm 多模	≤ 1.00

6.2 分布式光纤传感器接头盒

分布式光纤传感器接头盒应符合 YD/T 814.1 的规定。

6.3 光纤接头损耗

光纤接头损耗双向平均值要求小于 0.05 dB。

7 信号解调仪

7.1 一般规定

7.1.1 分布式光纤应变(变形)信号解调仪

应变(变形)信号解调仪主要技术性能应符合表 4 的规定。

表4 应变(变形)信号解调仪主要技术性能

性能	单位	指标
光纤类型	—	单模
单通道监测距离	km	1~50
应变(变形)测量量程	$\mu\epsilon$	8 000(可扩展)
空间分辨率	m	4(50 km 范围)
单通道单次测量时间	s	≤ 10
光通道数	pcs	≥ 2
应变(变形)测量精度	$\mu\epsilon$	$\pm 5(2\sigma)$
温度测量精度	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.25\text{ }^{\circ}\text{C}(2\sigma)$

7.1.2 分布式光纤温度信号解调仪

温度信号解调仪主要监测性能应符合表5的规定。

表5 温度信号解调仪主要监测性能

性能	单位	指标
光纤类型	—	多模 62.5/125 μm
单通道监测距离	km	1~15
测温范围	$^{\circ}\text{C}$	-40~+80(取决于光纤传感器)
光通道数	pcs	1/2/4/6/8/12/16
温度分辨率	$^{\circ}\text{C}$	0.1
定位误差	m	< 1.0
单通道测温时间	s	≤ 3
测温误差	$^{\circ}\text{C}$	± 0.5

7.1.3 分布式光纤振动(声音)信号解调仪

振动(声音)信号解调仪主要监测性能应符合表6的规定。

表6 振动(声音)信号解调仪主要监测性能

性能	单位	指标
光纤类型	—	单模
光通道数	pcs	1/2/4
单通道监测距离	km	1~40
空间分辨率	m	20
采样频率	Hz	2 500
定位误差	m	± 2
事件识别时间	s	≤ 120

7.1.4 解调仪使用环境

解调仪应能在下列环境下正常工作：

- a) 温度 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- b) 相对湿度 $5\%\sim95\%$ ；
- c) 大气压力 $86\text{ kPa}\sim106\text{ kPa}$ 。

7.1.5 稳定性与可靠性要求

具体要求如下：

- a) 解调仪在试验条件：常温($25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$)、连续通电工作状态下的平均无故障时间应 $\geq 50\ 000\text{ h}$ ；
- b) 解调仪在标准试验环境[温度 $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度(50 ± 10)%]下，连续运行12个月后的误差稳定性应满足：应变(变形)解调误差 $\leq \pm 10\ \mu\text{e}$ (2σ)，温度解调误差 $\leq \pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，振动(声音)解调误差 $\leq \pm 1\%$ Hz(满量程)。

7.1.6 外壳防护等级

解调仪的外壳防护等级不应低于GB/T 4208规定的IP 53。

7.1.7 耐环境

解调仪在环境条件影响下，测量值偏差不应大于9%，试验方法及条件按表7规定执行。

表7 解调仪耐环境试验方法及条件

项目	试验方法	试验条件
低温	GB/T 2423.1	温度： $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时间：2 h
高温	GB/T 2423.2	温度： $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时间：2 h
恒定湿热	GB/T 2423.3	温度： $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相对湿度： $(93\pm 3)\%$ 时间：2 d
交变湿热 ^a	GB/T 2423.4	温度： $40\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 相对湿度： $(93\pm 3)\%$ 时间：12 d
盐雾腐蚀试验	GB/T 2423.17	浓度：5% NaCl溶液 温度： $35\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 持续时间：96 h 要求：外壳无锈蚀，光纤接口导电性下降 $\leq 10\%$ ，功能正常
^a 试验时传感器不包装，不通电，不进行中间检测。		

7.1.8 主机

应具备抗扰度性能，并应符合GB/T 17626.2的规定。

7.1.9 电气绝缘性

当使用交流电源时,电气绝缘性能应符合 GB 4706.1 中 I 类器具的规定。

7.2 电源

7.2.1 采用电网供电时,应满足 220 V 交流电源使用条件。

7.2.2 电源频率应为 50 Hz,且频率容差保持在 $\pm 5\%$ 以内,以确保电源的稳定性。

7.3 机柜

7.3.1 主机、电源、通信模块等应置于同一机柜内。当有蓄电池时,蓄电池(UPS 电源)与其他模块之间应设置隔断,且相隔距离不应小于 200 mm。

7.3.2 户外机柜应符合 YD/T 1537 的规定,机柜的防护等级不应低于 GB/T 4208 规定的 IP 55。室内机柜应符合 GB/T 22690 的规定。

7.3.3 机柜的材质应选用不锈钢或镀锌铁皮,厚度不应小于 1.2 mm。当采用镀锌铁皮时,锌含量不应小于 180 g/m^2 ,并应进行内外表面喷塑处理。

7.3.4 机柜的内外表面应无锈蚀、明显划痕、毛刺等缺陷,涂覆层不应剥落、起泡。

7.4 通信

7.4.1 单台解调仪的信号上传网络带宽应不小于 100 Mbit/s。

7.4.2 通信接口应符合 GB/T 34068 的规定。

7.5 安全

7.5.1 电气设备安全应符合 GB 4793.1 的规定。

7.5.2 网络安全应符合 GB/T 22239 的规定,敏感数据需采用国密算法加密传输,平台访问实行双因素认证。

8 分布式光纤传感器安装

8.1 一般规定

8.1.1 分布式光纤传感器布置应满足施工设计方案要求。

8.1.2 分布式光纤传感器在到达施工现场后,施工前应进行开盘测试。

测试要求如下:

- a) 检查核对随光纤传感器包装的工程名称、规格型号、长度等信息无误;
- b) 目测光缆盘外包装完好无损;拆开包装后外层光纤传感器无损伤;
- c) 开盘测试,光纤完好,光纤芯数和长度正确,光纤损耗达标。

8.1.3 施工前应编制施工方案和进行技术交底。

8.1.4 施工应按设计文件执行,当需变更时,应由设计单位进行确认。

8.1.5 施工维护作业宜避开交通高峰时段;确需实施封闭道路作业的,应制定专项交通组织方案并经审批。

8.2 分布式光纤传感器安装敷设

8.2.1 安装敷设过程中,应将分布式光纤传感器从放缆架上展放,不应生拉硬拽,且不应平躺缆盘将分布式光纤传感器从轴盘侧面绕出。

8.2.2 光纤传感器展放时,需由多人托举或者经导轮过渡,不应在桥梁面上拖拽。

8.2.3 对于桥梁,根据设计计算,分布式光纤传感器应紧贴桥梁桥面系、上下部结构,且应确保安装牢固,并应符合下列要求:

- a) 分布式光纤传感器的敷设位置应严格参照设计计算后选择的区域;
- b) 分布式光纤温度传感器应敷设于桥梁桥面车辆碾压不到的区域;
- c) 分布式光纤应变(变形)传感器的敷设应覆盖需监测区域的所有面,两道传感器之间应设置一定间隔,在关键受力区域间隔应 ≤ 1 m,一般区域应 ≤ 2 m,次要构件应 ≤ 3 m;
- d) 针对需要监测的桥梁零部件和局部区域,可辅助布设分立式光纤传感系统。

8.2.4 分布式光纤传感器敷设过程中应沿程记录每一个分布式光纤传感器接头盒位置、相对应的里程号和坐标位置信息。

8.3 分布式光纤传感器接头盒安装

8.3.1 接头盒两端预留的光纤传感器长度不应小于5 m。

8.3.2 宜安装在距离桥梁物内的地面高度1.5 m处。

8.3.3 分布式光纤传感器连接应符合的要求。具体如下:

- a) 分布式光纤传感器接头盒应布置在方便调试和维护的位置,并应避免施工维护不便的地点和振动(声音)源;
- b) 分布式光纤传感器接头盒内应预留1.6 m长的光纤,余留光纤盘放的曲率半径不应小于 $30D$ (D 为光纤传感器直径),光纤熔接封装完后盘续在接头盒内,并可靠固定;
- c) 每根光纤应标注永久性的纤号;
- d) 分布式光纤传感器连接应符合GB/T 16529.3的规定,并应使用光纤熔接机熔接,不应使用冷接头;
- e) 接头盒两边的分布式光纤传感器应进行固定,两端的预留长度应按照5 m预留并保持两端预留的长度一致。

9 解调仪、报警主机安装

9.1 一般要求

解调仪、报警主机到现场后,安装前应进行质量检验。检验要求如下:

- a) 检查外包装是否完好;
- b) 检查产品名称、项目名称、规格型号是否正确;
- c) 检查随机的备品备件是否齐全;
- d) 检查产品说明书、使用手册是否齐全。

9.2 解调仪机柜布置及电源

9.2.1 机柜应根据机房整体布局,安装在标准机房内。机房标准如下:

机房温度和湿度依照GB/T 2887中的规定,场地环境条件规定的C级测试。开机时,温度 $15^{\circ}\text{C}\sim 28^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $30\%\sim 80\%$,温度变化率小于 $15^{\circ}\text{C}/\text{h}$,不应有凝露。关机时,温度 $5^{\circ}\text{C}\sim 40^{\circ}\text{C}$,相对湿度

20%~80%，温度变化率小于15℃/h，不应有凝露。

9.2.2 解调仪安装在机柜内，机柜安装方式可采用基座式，根据主机箱尺寸和底部预留孔预先完成混凝土基础，主机柜的安装垂直度偏差不应大于主机箱高度的2%。

9.2.3 机柜内如配置电网电源，应符合GB 19517的规定：

机房电源依照GB/T 2887计算机场地通用规范，供电电源220 V/50 Hz，电源参数B级规定，稳态电压偏移范围-3%~+3%的规定。

9.2.4 通电前，设备检查应符合下列要求。

- a) 设备标签应齐全、正确。设备通过标签标注电源参数、接口参数、安全标识等，对设备本身安全、相关设备安全和人身安全，应齐全、完整、正确。
- b) 设备及插板类型、数量、安装位置与设计文件或设备说明书相符。清点电源插座与设备需求数量相符，分布位置符合设计要求，确保设备布置与设计相符。
- c) 设备的各种开关应置于规定的位置上，各输入、输出端子类型和位置应与设计文件相符。设备选择开，如输入电压选择，设备参数选择开关，以防止设备损坏或无法工作。
- d) 电源的引出位置应正确。没有适配标准电源插头的设备，应检查引出电源的标识，以免电源接错。
- e) 机柜应按要求接地良好。依据GB/T 2887中的规定，供电电源规定采用TN-S系统接地方式，检查接地线的接地电阻是否合格，机柜上接地线是否与接地端子连接紧固。
- f) 分布式光纤传感器纤芯顺序应与设计文件或设备说明书相符。分布式光纤传感器的纤芯接续正确，确保设备的测量通道与被测对象表面的光纤传感器的数据映射正确。

9.2.5 各种设备应按照操作程序逐级接通电源，电源接通后，测量回路电压应符合设计要求。

9.2.6 设备开机时应检查指示灯的指示情况，确认设备无故障。设备正常工作时应无过热现象。

9.2.7 机柜通电后应进行开机测试，测试过程中主机不应出现系统卡顿、死机现象。

10 性能测试

10.1 一般要求

10.1.1 使用测试设备，检查整个光路完整性，熔接点衰减应符合要求。

10.1.2 设备通电稳定后，指示灯应显示正常。

10.1.3 全光型风险监测预警系统安装完成后应进行调试。

10.2 测试内容

全光型风险监测预警系统应进行模拟测试，包括温度/振动(声音)/应变(变形)误差验证、定位误差验证、异常事件识别和风险监测预警平台综合测试。

10.3 温度/振动(声音)/应变(变形)误差验证

10.3.1 温度误差验证方法

10.3.1.1 在一个单通道范围内，至少在起点、终点、中间位置取3个不同位置的测试点。

10.3.1.2 测试步骤按下列方法。

- a) 将温度信号解调仪布置在待测桥梁物的起点。
- b) 在测试点，利用预留的分布式光纤传感器，制作成连续长度不小于2 m、直径不小于90 mm分布式光纤传感器测试环。
- c) 将分布式光纤传感器测试环放入恒温加热装置中进行加热。恒温加热装置的温度分别设定为

40℃、60℃和80℃三个温度值,测试时温度变化不应大于0.1℃。

- d) 将分布式光纤传感器圆环放入测试装置并待温度稳定后,分别读取恒温加热装置的温度值和温度信号解调仪显示的温度值。

10.3.1.3 每个点测温误差值按公式(1)计算:

$$\Delta T = \frac{\sum_{i=1}^3 |T_i - T_{0i}|}{3} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

ΔT ——测温误差值,单位为摄氏度(℃);

T_i ——温度信号解调仪显示的温度值,单位为摄氏度(℃);

T_{0i} ——恒温加热装置的温度值,单位为摄氏度(℃)。

10.3.1.4 合格判定:3个温度测试点测温误差值的算术平均值不应大于1℃。

10.3.2 振动(声音)误差验证方法

10.3.2.1 在一个单通道范围内,至少起点、终点、中间点取3个不同位置的测试点。

10.3.2.2 每处测试点应分别进行机械和人工振动(声音)测试。

10.3.2.3 测试工具选择应符合下列要求:

- 施工机械测试宜为小型挖掘机,斗容0.1 m³~0.3 m³,铲斗挖掘力小于60 kN;
- 人工工具应选用铁锹、镐等普通人工挖掘工具;
- 用振动(声音)发生器校准振动(声音)信号解调仪和分布式光纤振动(声音)传感器;
- 振动(声音)定量测试应采用质量为1 kg的铁球,测试从1 m高度自由落地的振动(声音)数据,取10次测试的平均值。

10.3.2.4 机械测试方法应符合下列要求:

- 机械设备到达测试段指定位置后,熄火静止5 min;
- 从垂直距离桥梁(分布式光纤传感器)的轴线方向从远到近测试,距离分为30 m、20 m、10 m、5 m、0 m;
- 施工机械测试分为机械启动、行驶以及拍打、挖掘、刮蹭、推平地面等常见的施工动作;
- 每种动作重复10次;每次持续2 min以上,两次动作之间间隔1 min以上。

10.3.2.5 人工测试方法应符合下列要求。

- 从垂直距离桥梁(分布式光纤传感器)的轴线方向从远到近测试,距离分为10 m、5 m、3 m、1 m、0 m。
- 测试种类为铁锤敲打、铁锹挖掘、电镐钻凿等常见施工方式。
- 每种动作重复10次;持续时间大于2 min,两次动作之间间隔1 min以上。

10.3.2.6 合格判定:系统能够对以上测试动作做出异常事件种类判断并及时发出预警;系统的报警准确率 $\geq 95\%$,误报率 $\leq 4\%$,漏报率 $\leq 1\%$ (报警准确率+误报率+漏报率=100%)。合格标准应符合表8的规定。

表8 合格判定

事件类型	预警次数	合格标准
机械施工	50次	误报率 $\leq 4\%$,漏报率 $\leq 1\%$
人为挖掘	50次	误报率 $\leq 4\%$,漏报率 $\leq 1\%$

10.3.3 应变(变形)误差验证方法

10.3.3.1 应变(变形)信号解调仪校准,将标准光纤应变(变形)传感器固定在拉力加载设备,用拉力加载设备让标准光纤产生可测量的应变(变形),对应变(变形)信号解调仪进行校准。

10.3.3.2 取合适长度的被测单端光纤应变(变形)传感器,两端采用盘绕的方式固定在拉力加载设备上,受试长度建议大于或等于100 m,施加拉力产生可测量的传感器伸长量,再用标准应变(变形)信号解调仪测试到的应变(变形)量,对被测单端光纤应变(变形)传感器进行校准。

10.3.3.3 取合适长度的被测环路光纤应变(变形)传感器,按规定接到标准应变(变形)信号解调仪上,传感器受试长度建议大于或等于100 m,受试部分两端采用盘绕的方式固定在拉力加载设备上,施加拉力产生可测量的传感器伸长量,再用标准应变(变形)信号解调仪测试到的应变(变形)量对被测环路光纤应变(变形)传感器进行校准。

10.3.3.4 测试步骤按下列方法:

- a) 将应变(变形)信号解调仪布置在光纤应变(变形)传感器的起点;
- b) 给被监测对象施加应力,使被监测对象发生形变;
- c) 每级取5组形变量数据,测量范围必应包含量程上限和下限。

10.3.3.5 误差按公式(2)计算:

$$\epsilon = \Delta L / L \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中:

- ϵ ——应变(变形)量;
 ΔL ——被监测物形变量;
 L ——被监测物原长度。

10.3.3.6 应变(变形)误差计算具体如下。

- a) 标准应变(变形)解调仪测试误差计算:
 $\Delta\epsilon = \text{解调仪显示应变(变形)} - \text{标准光纤真实应变(变形)}$
- b) 被测光纤应变(变形)传感器测试误差计算:
 $\Delta\epsilon = \text{标准解调仪显示的应变(变形)} - \text{被测传感器应变(变形)}$

10.3.3.7 应变(变形)量分级应符合表9的规定。

表9 合格判定

应变(变形)量	应变(变形)量范围/ $\mu\epsilon$
A级	10~50
B级	51~500
C级	501~1 000
D级	1 001~2 000

10.3.3.8 合格判定:测量5组光纤传感器的应变(变形)数据,每组形变量误差值不应大于 $\pm 10 \mu\epsilon$ 。

10.4 定位误差验证

10.4.1 分布式光纤温度传感系统

10.4.1.1 温度信号解调仪校验

从分布式光纤传感系统允许的最大监测距离处向分布式光纤传感器的起始方向至少取3个点且测

试点之间的距离为 1 m,校验温度信号解调仪显示的两点之间距离是否为 1 m。

10.4.1.2 定位误差测试

具体步骤如下。

- a) 将温度信号解调仪布置在待测管廊、地铁、隧道内部管线物的起点。
- b) 选择测试点,测量测试点到起点的实际距离。
- c) 在测试点使用带测度测量功能的加热电缆加热分布式光纤传感器。带测度测量功能的加热电缆缠绕分布式光纤传感器的长度 0.4 m~0.5 m,带测度测量功能的加热电缆包裹分布式光纤温度传感器,并紧贴分布式光纤传感器,直到加热电缆的温度达到并恒定在设置温度值后保持 5 s后读取系统所测数据。
- d) 测试 10 次取平均值。

10.4.2 分布式光纤振动(声音)传感系统

10.4.2.1 振动(声音)信号解调仪校验

从分布式光纤传感系统允许的最大监测距离处向分布式光纤传感器的起始方向至少取 3 个点且测试点之间的距离为 1 m,校验振动(声音)信号解调仪显示的两点之间距离是否为 1 m。

10.4.2.2 定位误差测试

具体步骤如下:

- a) 将振动(声音)信号解调仪布置在待测管廊、地铁、隧道内部管线物的起点;
- b) 选择测试点,测量测试点到起点的实际距离;
- c) 在每个测试点分别使用机械和人工进行振动(声音)测试,保持 30 s后读取系统所测数据,每个动作重复 10 次,结果取平均值。

10.4.3 分布式光纤应变(变形)传感系统

10.4.3.1 应变(变形)信号解调仪校验

从分布式光纤传感系统允许的最大监测距离处向分布式光纤传感器的起始方向,至少取 3 个点且测试点之间的距离为 50 m,校验温度信号解调仪显示的两点之间距离是否为 50 m。

10.4.3.2 定位误差测试

具体步骤如下:

- a) 将应变(变形)信号解调仪布置在待测管廊、地铁、隧道内部管线物的起点;
- b) 选择测试点,测量测试点到起点的实际距离;
- c) 在每个应变(变形)测试点分别施加压力,保持 30 s后读取系统所测数据,每个动作重复 10 次,结果取平均值。

10.4.4 定位误差计算

定位误差按公式(3)计算:

$$\Delta X = |X_i - X_0| \dots\dots\dots(3)$$

式中:

ΔX ——定位误差,单位为米(m);

X_i ——信号解调仪显示的测试点到起点的距离,单位为米(m);

X_0 ——测试点到起点的实际距离,单位为米(m)。

10.4.5 合格判定

所有位置测试点的实际距离与信号解调仪显示的距离定位误差均不应大于1 m。

10.5 异常事件识别

通过建立特征事件数据库,采用人工智能算法对一个或者多个传感系统的报警信号做智能复合分析,判断异常事件的种类和性质。

10.6 风险监测预警平台综合测试

10.6.1 信号强度和有效距离。

10.6.2 正常和异常信号包含的信息内容:时间、坐标、长度、温度、振幅、应变(变形)等数据。

10.6.3 将实时采集的正常和异常信号通过系统波形图进行展示。

11 风险监测预警平台要求

11.1 功能要求

11.1.1 软件环境

风险监测预警平台部署环境应符合GB/T 9361中的规定,C级及以上标准。

11.1.2 显示

11.1.2.1 风险监测预警平台应集成地理信息系统显示实时地图,并应能显示对应被监测桥梁物图,显示关键节点位置的标识及信息。

11.1.2.2 点击桥梁图应能显示监测桥梁物实时应变(变形)、温度、振动(声音)坐标图和历史坐标图。

并应符合下列要求:

- a) 横坐标显示桥梁物的位置坐标,并应能放大到1.0 m每格和缩小至能观测全部波形;
- b) 纵坐标显示应变(变形)、温度、振动(声音)信息,并可以任意自适应缩放;
- c) 实时坐标图和历史坐标图,可以叠加显示,分析对比。

11.1.2.3 温度坐标图应同时能显示温度、温升速率及相应位置等数据,并应符合下列要求:

- a) 温度的显示,单位采用摄氏度($^{\circ}\text{C}$),显示的分辨率为0.1 $^{\circ}\text{C}$;
- b) 温升速率的显示,单位采用摄氏度每分($^{\circ}\text{C}/\text{min}$),显示分辨率为0.1 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$;
- c) 位置的显示,单位采用米(m),显示分辨率为0.1 m。

11.1.2.4 应变(变形)坐标图具体如下:

- a) 应变(变形)的显示,单位采用微应变($\mu\epsilon$),显示的分辨率为1 $\mu\epsilon$;
- b) 形变量速率的显示,单位采用微应变每分($\mu\epsilon/\text{min}$),显示分辨率为1 $\mu\epsilon/\text{min}$;
- c) 位置的显示,单位采用米(m),显示分辨率为0.1 m。

11.1.2.5 振动(声音)坐标图具体如下:

- a) 振动(声音)的显示,单位采用分贝(dB),显示的分辨率为1 dB;
- b) 振动(声音)速率的显示,单位采用赫兹(Hz),显示分辨率为1 Hz;
- c) 位置的显示,单位采用米(m),显示分辨率为1 m。

11.1.2.6 报警应有实时的可视标识,并应有声光提示,并应符合下列要求:

- a) 报警信息应包括报警时间、监测信息和位置;
- b) 报警信息应包括事件及事件级别、内容。

11.1.3 报警

11.1.3.1 监测应实现桥梁沿线的异常数据按照超限报警,报警阈值可分段,分级设置。

11.1.3.2 监测应具备布防和撤防功能。

11.1.3.3 桥梁沿线的异常振动(声音)数据按一级预警(最高等级)、二级预警、三级预警的分类报警和定位功能,异常预警准确度应符合表10的规定。

表10 异常报警准确度

事件内容	事件级别	准确度
车辆超载,偏载	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%
斜拉索安全	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%
桥梁共振	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%
桥梁变形	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%
自然灾害	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%

11.1.3.4 全光型风险监测预警系统自身功能异常报警内容应包含电源故障、主机故障、通信故障和分布式光纤传感器损坏等。

11.1.3.5 所有报警响应时间不应超过2 min。

11.1.3.6 监测预警平台可通过PC端、移动端等途径通知相关人员。

11.1.4 数据存储与调阅

11.1.4.1 监测预警平台应能完整存储桥梁运行时的数据,包含桥梁应变(变形)、温度、机械性外力危害事件预警数据、桥梁相应位置数据等。

11.1.4.2 监测预警平台应能自动存储及定期对数据进行备份。存储周期不应少于12个月。当因停电等故障中断数据存储时,恢复后应能自动恢复数据存储功能。

11.1.4.3 支持报警记录与历史事件处理记录报告生成及导出。

11.1.5 数据交换

监测预警平台与其他物联网平台的数据交换,应符合GB/T 43245的规定,应支持RESTful API或工业物联网标准协议(如MQTT、OPC UA)。

11.1.6 平台标准

11.1.6.1 基础数据

桥梁全光型风险监测预警系统基础数据的建设应满足信息化和智能化的要求,并应符合下列要求。

- a) 数据对象应覆盖所有受监测的桥梁结构。
- b) 监测的数据应包含桥梁本身的空间结构关系数据、属性数据、分布式监测数据、应急抢险闭环管理数据。

- c) 风险监测预警系统中设备的空间拓扑关系数据宜以地理信息系统为基础构建,并应符合CJJ/T 100的有关规定。
- d) 风险监测预警系统中设备的属性数据应覆盖桥梁的全生命周期。
- e) 风险监测预警系统设施的应急抢险闭环管理数据应包括运行巡检、维护保养计划和执行记录、事件日志等。
并应符合下列要求:
 - 1) 应急抢险闭环管理的数据保留时间应大于5年,条件许可时,宜长期保存;
 - 2) 应急抢险闭环管理的数据内容应包含有时间或时间段标签;
 - 3) 应急抢险闭环管理的数据内容应包含但不限于图片、声音、视频。

11.1.6.2 数据管理

具体如下。

- a) 数据管理应建立数据质量监督和评价体系,并应符合下列要求:
 - 1) 应能实现量化考核;
 - 2) 应能对数据的创建、利用、变更、销毁的过程实现质量管控。
- b) 数据对象命名及编码宜以对象物理构成、空间位置及生命周期为依据;数据对象的编码是唯一的,并应满足资源数量增加的要求。
- c) 数据采集应明确来源、内容、范围及精度要求,并应符合下列要求:
 - 1) 数据应适时采集并建立持续的更新机制;
 - 2) 采集的数据应包含时间标签;
 - 3) 采集的数据应包含位置的数据;
 - 4) 采集的数据应包含事件的数据。
- d) 数据存储结构应具有可扩展性;数据库应具备备份、恢复及扩展的能力。
- e) 数据管理应采用基于国产商用密码算法的产品。

11.1.6.3 平台及通信

具体如下。

- a) 风险监测预警平台应能支持智能应用的开发和集成,并应采用可扩展的架构。
- b) 风险监测预警平台应结合市场主流信息技术的发展方向。
- c) 风险监测预警平台应在集成部署上提供有效的高可用性集群策略。
- d) 风险监测预警平台的集成接入应满足安全性、完整性、高效性、时效性、容错性的要求。
- e) 风险监控预警平台的信息通信应符合下列要求:
 - 1) 接口协议应保证传输内容的完整性、安全性;
 - 2) 关键站点和监测系统设施信息通信应具有冗余的信道来保证信息的高鲁棒。

11.2 布置及安装要求

11.2.1 监测预警平台的服务端宜设置在云服务器或自有机房的服务器上。

11.2.2 监测预警平台的客户端(显示界面和声光报警部分)应设置在监控中心并与其他管理平台集成显示。

11.3 测试要求

11.3.1 显示测试

11.3.1.1 在监测预警平台上缩放地图时,桥梁图和地图位置应正确映射,且关键节点的标识信息应清晰完整。

11.3.1.2 选择任意段点打开坐标图,做缩放坐标图操作。

11.3.2 报警测试

11.3.2.1 随机选择一个测试段,设置报警阈值,加热分布式光纤传感器,记录级别报警被触发的时间,同时确认阈值范围及达到阈值时是否报警,是否有漏报和误报。

11.3.2.2 随机选择一个测试段,设置报警阈值,做实际机器挖掘测试,记录各级别报警被触发的时间,同时确认阈值范围及达到阈值时是否报警,是否有漏报和误报。

11.3.2.3 随机选择一个测试段,设置报警阈值,做实际应变(变形)测试,记录各级别报警被触发的时间,同时确认阈值范围及达到阈值时是否报警,是否有漏报和误报。

11.3.2.4 分别模拟电源故障、主机故障、通信故障和分布式光纤传感器损坏,记录各类报警被触发的时间。

11.3.2.5 以上测试项目分别做3组测试。

11.3.3 数据存储与调阅

11.3.3.1 通过数据库可视化管理软件,查看数据库。

11.3.3.2 平台运行一段时间后,检查数据备份,备份数据文件应位于指定的位置。

11.3.3.3 运行完各项测试后,操作各类报表,报表数据规范完整。

12 验收

12.1 验收内容及范围

12.1.1 项目验收方式

具体如下:

- a) 验收由使用方、建设方、供应方组织实施并由代表参加,有监理方的项目,监理方应参加验收;
- b) 项目验收的结果应形成验收记录并由参与方的代表签字;
- c) 项目的验收宜与桥梁施工验收同时进行。

12.1.2 项目验收内容

具体如下:

- a) 硬件系统验收:包含分布式光纤传感器、分布式光纤信号解调仪、服务器、网络、交换机;
- b) 监测平台验收:包含操作系统、监测预警平台软件、测试程序;
- c) 应用系统验收:包含模拟测试;
- d) 项目文档验收:包含验收报告(见附录A)、测试文档、技术文档、操作手册、用户手册。

13 运行和维护

13.1 运行维护服务内容

13.1.1 用户信息系统的组成主要可分为两类:硬件设备和软件系统。硬件设备包括网络设备、主机设备、存储设备等;软件设备可分为操作系统软件、应用软件(如:数据库软件、中间件软件等)、业务应用软件等。

13.1.2 维护信息系统相关的主机设备、操作系统、数据库和存储设备及其他信息系统的运行维护,制定详细的定期检查计划,涵盖所有硬件和软件组件,确保其处于良好运行状态。

13.1.3 定期检查各硬件设备的运转情况和应用软件运行情况,备份数据增量,定期校准传感器和其他测量设备,确保测量数据的准确性,定期检查周期不应超过6个月,传感器校准周期不应超过3个月。

13.1.4 定期清洁设备,防止灰尘、污垢等影响设备正常运行,一般应为3个月~6个月。

13.2 突发事件应急处理

13.2.1 检查硬件系统和软件系统问题。

13.2.2 排查问题,找到问题关键点,形成解决方案,并记录和反馈。

13.2.3 建立备件库,确保关键组件有足够的备件,能够在故障时及时更换。

13.2.4 详细记录所有维护和故障处理过程,包括故障原因、处理方法和处理结果,以便后续分析和改进。

13.3 系统更新

13.3.1 软件更新:定期更新系统软件,修复漏洞,提升性能和功能,确保系统安全稳定,一般应为3个月~6个月。

13.3.2 硬件升级:根据需要进行硬件升级,替换老旧设备,提升系统整体性能。

13.3.3 数据备份:定期进行数据备份,并妥善保管备份数据,确保在数据丢失时能够迅速恢复,一般应为3个月~6个月。

附 录 A
(资料性)
验收报告模板

验收报告模板见表 A.1。

表 A.1 验收报告模板

项目验收报告			
项目单位：		验收时间： 年 月 日	
项目名称：		项目编号：	
合同编号：			
序号	验收项	主要内容	结论
1	项目信息		
2	项目概述		
3	光纤传感器		
4	信号解调仪		
5	报警主机		
6	其他硬件设备		
7	平台显示		
8	系统功能		
9	相关文档		
10	运维方案		
验收结论			
人员签字	设计单位：	监理单位：	业主单位：

中国国际科技促进会
团体标准
桥梁风险实时分布式监测预警技术规范
T/CI 1162—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社印刷

各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.75 字数 42 千字
2026年2月第1版 2026年2月第1次印刷

*

书号:155066·5-18241 定价 54.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68510107



T/CI 1162-2025