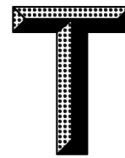


ICS 35.020
CCS I 653



团 体 标 准

T/CI 827—2024

给排水管网分布式光纤实时监测 预警系统建设技术规范

Technical specification for distributed optical fiber real-time monitoring and
early warning of water supply and drainage pipe network

2024-12-24 发布

2024-12-24 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 系统组成及功能要求	3
5 分布式光纤传感器	4
6 信号解调仪	5
7 分布式光纤传感器安装	7
8 解调仪、报警主机安装	10
9 性能测试	11
10 风险监测预警平台	14
11 验收报告	17
12 运行和维护	17
附录 A(资料性) 验收报告模板	19

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》给出的规定起草。

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、哈尔滨工业大学、中电系统建设工程有限公司、中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司、常州市排水管理处、南水北调东线智能水务(北京)有限公司、上海万朗水务科技集团有限公司、浙江华丰新材料股份有限公司、天津市昊航复合管业有限公司、浙江中财管道科技股份有限公司、中国市政工程中南设计研究总院有限公司、中国石油集团宝石管业有限公司、上海管康技术有限公司。

本文件主要起草人：缪宏、田禹、郁亮、魏俊、陈波、滕海波、樊雪莲、徐崇玉、刘瞳、何记法、童沙、宋海辉、刘林、李金、李俐频、彭敏、陆文涛、胡文新、张莉、詹文文、章陈燕、张军、陈梅娟、牛文钰、缪文韬。

给排水管网分布式光纤实时监测 预警系统建设技术规范

1 范围

本文件规定了给排水管网分布式光纤实时监测预警系统建设,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、验收报告及运行和维护。

本文件适用于新建或改、扩建的给排水管网建设分布式光纤实时监测预警系统的工程设计、施工和验收。

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 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 16280 线型感温火灾探测器
- GB 19517 国家电气设备安全技术规范
- 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 2887 计算机场地通用规范
- GB/T 4208 外壳防护等级(IP代码)
- 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/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/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

主要包括全光感知的分布式光纤传感器、监测系统主机和风险监测预警平台三部分,监测的物理量包括振动、应变、温度、位移等。全光型是指安装在现场的分布式光纤传感器无源、本安。

3.2

分布式光纤实时监测预警系统 distributed optical fiber real-time monitoring and early warning system

基于光纤传感技术的安全监测系统,在时间和空间无盲区监测。

3.3

分布式光纤传感器 distributed optical fiber sensor; DOFS

实现分布式应变、振动(声音)传感功能的光纤传感器,包含一芯或多芯光纤和必要的保护层,简称光纤传感器。

3.4

分布式光纤应变信号解调仪 distributed fiber optic strain 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信号变化数据,实现应变测量及定位的装置。

3.5

分布式光纤振动(声音)信号解调仪 distributed fiber optic vibration(acoustic)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,实现外界对给排水管网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。

3.6

风险监测预警平台 monitoring and forewarning platform

接收主机上传的应变、振动(声音)数据,显示给排水管道应变、振动(声音)异常信号,识别数据分布,实现应变、振动(声音)异常信号识别结果的定位、报警、数据存储等功能的物联网应用平台软件。

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 1m 间隔逐一标注分布式光纤传感器长度的标识。

3.8

定位偏差 positioning deviation

全光型风险监测预警系统上显示的应变、振动(声音)异常事件的位置和实际位置之间的偏差。

3.9

最大监测距离 maximum monitoring distance

应变、振动(声音)信号解调仪的单个通道能够监测的最大长度。

3.10

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。

3.11

异常事件识别 abnormal event identification

对危及给排水管道本体结构安全的异常事件性质的识别。

3.12

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。误报率是指:误报次数/整体报警次数。

3.13

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。

注:漏报率是指漏报次数/整体报警次数。

4 系统组成及功能要求

4.1 系统组成

全光型风险监测预警系统主要包括分布式测应变、振动(声音)光纤传感器,应变、振动(声音)信号解调仪,通信网络和全光型风险监测预警平台。全光型风险监测预警系统构成示意图 1。

全光型风险监测预警系统技术路径图

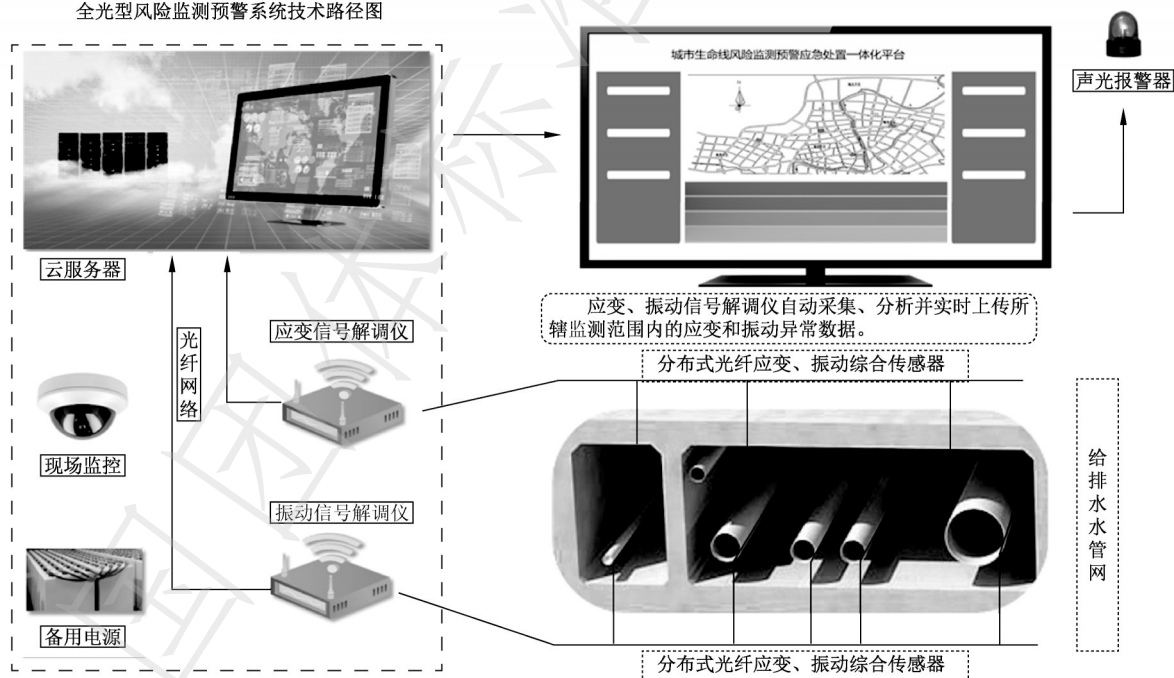


图 1 全光型风险监测预警系统构成示意图

4.2 基本功能

全光型风险监测预警系统应具备下列基本功能:

- 应变、振动(声音)信号解调仪将分布式光纤传感器采集的给排水管道的应变、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;
- 同时对管道中阀门、井盖的健康状态进行在线监测并通过全光型风险监测预警系统发出

预警；

- c) 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；
- d) 应变、振动(声音)信号解调仪自动采集、分析并实时上传所辖监测范围内的应变、振动(声音)异常数据；
- e) 监测预警系统结合 GIS,直观显示异常状态点的坐标位置；
- f) 监测预警系统自动存储及备份采集的数据；
- g) 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；
- h) 监测预警系统与其他物联网平台的数据交换；
- i) 监测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。

通过管网内布置的分布式传感光缆监测管道的振动、应变、温度、位移等单一或多个信号,通过系统分析后判定管网的安全性和可靠性,是管网的技防措施之一。

5 分布式光纤传感器

5.1 分布式光纤传感器

5.1.1 分布式光纤传感器护套应采用低烟、无毒、无卤、耐高温材料;特殊环境应考虑防啮齿类动物和白蚁破坏。

5.1.2 分布式光纤传感器物理性能应符合表 1 的规定,测试方法按 GB/T 7424.21;GB/T 7424.22;GB 16280 的规定执行。

表 1 分布式光纤传感器物理性能

性能		指标
光纤(单模 G657)	光纤芯数	≥2 芯
光学特性	衰减(无外力静置)	≤0.35 dB/km(1 310 nm)
		≤0.21 dB/km(1 550 nm)
	有效群折射率	1.467 6(1 310 nm)
		1.468 2(1 550 nm)
耐温要求	使用环境温度	-40 °C~+80 °C
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
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	≥20 D
	动态	≥30 D
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

D 为分布式光纤传感器直径。

5.1.3 分布式光纤传感器外表面应有分布式光纤传感器米标,并应符合下列规定:

- a) 计米长度的误差应在 0%~1% 范围,实际长度不应短于计米长度;
- b) 计米标志应连续并间隔 1 m;
- c) 计米标志可以从非零的数字开始;
- d) 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。

5.1.4 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 2 的规定。

表 2 光纤损耗标准

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

5.2 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。

5.3 光纤接头损耗

光纤接头损耗指标要求应不高于 0.05 dB。

6 信号解调仪

6.1 应变/振动(声音)信号解调仪

6.1.1 分布式光纤应变信号解调仪

分布式光纤应变信号解调仪主要技术性能应符合表 3 的规定。

表 3 分布式光纤应变信号解调仪主要技术性能

性能	单位	指标
光纤类型	—	单模光纤
单通道监测距离	km	1~50
应变测量量程	$\mu\epsilon$	0~8 000(可扩展)
空间分辨率	m	4@50 km
单通道单次测量时间	s	≤ 10
光通道数	pcs	≥ 2
应变测量精度	$\mu\epsilon$	$\pm 1 \sim \pm 5(2\sigma)$
温度测量精度	$^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}(2\sigma)$

6.1.2 分布式光纤振动(声音)信号解调仪

分布式光纤振动(声音)信号解调仪主要监测性能应符合表4的规定。

表4 分布式光纤振动(声音)信号解调仪主要监测性能

性能	单位	指标
光纤类型	—	单模光纤
光通道数	pcs	1/2/4
单通道最大监测距离	km	1~40
空间分辨率	m	20
最大采样频率	Hz	2500
定位误差	m	±2
事件识别时间	s	≤120

6.1.3 解调仪使用环境

解调仪应能在下列环境下正常工作：

- 温度 $-20\text{ }^{\circ}\text{C}\sim+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- 相对湿度 $5\% \sim 95\%$ ；
- 大气压力 $86\text{ kPa}\sim 106\text{ kPa}$ 。

6.1.4 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 。

6.1.5 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 5 规定执行。

表5 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

^a 试验时传感器不包装,不通电,不进行中间检测。

6.1.6 电磁兼容

主机应具备抗扰度性能,并应符合 GB/T 17626.2 的规定。

6.1.7 电气绝缘

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。

6.2 电源

6.2.1 采用电网供电时,应满足 220 V 交流电源使用条件。

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

6.3 机柜

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

6.3.2 户外机柜应符合 YD/T 1537 通信系统户外机柜的规定,机柜的防护等级不应低于 GB/T 4208 外壳防护等级规定的 IP55。室内机柜应符合 GB/T 22690 数据通信设备通用机械结构机柜和插箱的规定。

6.3.3 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。

6.3.4 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。

6.4 通信

6.4.1 网络带宽

单台解调仪的信号上传网络带宽应不小于 100 Mb/s。

6.4.2 通信接口

通信接口应符合 GB/T 34068 的规定。

6.5 安全

6.5.1 设备安全

电气设备安全应符合 GB 4793.1 的规定。

6.5.2 网络安全

网络安全应符合 GB/T 22239 的规定。

7 分布式光纤传感器安装

7.1 一般规定

7.1.1 技术交底

施工前应编制施工方案和进行技术交底。

7.1.2 布置要求

分布式光纤传感器布置应满足施工设计方案要求。

7.1.3 测试要求

分布式光纤传感器在到达施工现场后,在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,光纤损耗符合 5.3 的规定。

7.1.4 变更确认

施工应按设计文件执行,当需变更时,应由设计单位牵头进行确认。

7.2 分布式光纤传感器安装敷设

7.2.1 安装敷设

安装敷设过程中,应将分布式光纤传感器从放缆架上通过转动缆盘轴缓慢展放,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。

7.2.2 展放要求

光纤传感器展放时,需由多人托举或者经导轮过渡,不应在地面长距离拖拽。

7.2.3 安装要求

7.2.3.1 安装原则包括:

- a) 分布式光纤传感器可安装在管道内部或外壁,现场施工条件允许,宜安装在管道内部;
- b) 应在管道内部或外壁预留不少于 10m 分布式光纤传感器;
- c) 进出管道端使用密封连接件固定分布式光纤传感器;
- d) 分布式光纤传感器安装后宜设置相应的保护措施。

7.2.3.2 对于给水管道,分布式光纤传感器的安装应符合下列规定:

- a) 分布式光纤振动(声音)传感器宜敷设于给水管道内部;
- b) 对于管廊内的给水管道,分布式传感器宜敷设在给水管道外表面。

7.2.3.3 对于排水管道,分布式光纤传感器的安装应符合下列规定:

- a) 分布式光纤振动(声音)传感器宜敷设于排水管道内部;
- b) 分布式光纤应变传感器宜敷设于排水管道的两腰及顶部;
- c) 对于管廊内的给排水管道,分布式传感器宜敷设在排水管道外表面。

7.2.3.4 阀门监测,分布式光纤传感器的安装应符合下列规定。

- a) 为不影响阀门开关,分布式光纤传感器从管道内穿出管道外,越过阀门后再穿入到管道内;见示意图 2:

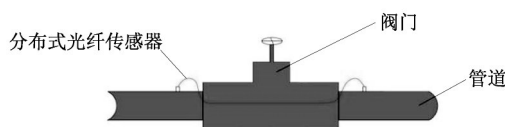


图2 阀门监测安装示意图

- b) 监测阀门内漏,分布式光纤传感器从管道内穿出管道外,宜贴合阀门外壁,再穿入到管道内。
- c) 应在阀门井内预留不少于 10m 分布式光纤传感器,预留分布式光纤传感器宜用盘缆架整理后挂于井壁。

7.2.3.5 井盖监测,宜在井盖下表面焊接挂点,将分布式光纤振动(声音)传感器连接于挂点,再穿孔进入到管道内。示意图如下:

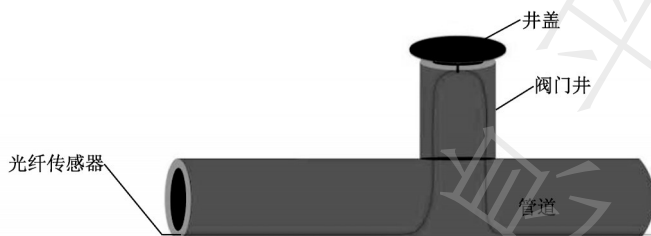


图3 井盖监测安装示意图

7.2.3.6 对于以下情况:小口径新建管道,管道外壁安装微管分布式光纤传感器;既有存量小口径管道,管道内非固定安装分布式光纤传感器;大口径输水管道,管道内无损(不开焊、不打孔)安装,分布式光纤传感器都需要引出管道避开管道阀门,光纤的接头都应设置在阀门外。

7.2.4 沿程记录

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、相对应的给排水管道施工图中给排水管道的里程号和坐标位置信息。

7.3 分布式光纤传感器接头盒安装

7.3.1 长度

接头盒两端预留的光纤传感器长度不应小于 5m。

7.3.2 接头盒

接头盒宜安装在管道外面;如安装在管道内部应符合管道内部环境要求并安装在管道侧壁。

7.3.3 连接要求

分布式光纤传感器连接应符合下列规定:

- a) 分布式光纤传感器接头盒应布置在地势较高、较平坦和地质条件稳定的位置,并应避开水塘、河渠、沟坎、道路等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) 每根光纤的接头损耗不应大于 0.05 dB;
- f) 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。

8 解调仪、报警主机安装

8.1 一般规定

解调仪、报警主机到现场后,安装前应进行质量检查,检查要求如下:

- 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。

8.2 解调仪机柜布置及电源

8.2.1 机房要求

机柜应根据机房整体布局,安装在标准机房内。具体要求如下:

机房温度和湿度依照 GB/T 2887 中场地环境条件规定的 C 级测试。开机时,温度 15℃~28℃,湿度 30%~80%,温度变化率小于 15℃/h,不应有凝露。关机时,温度 5℃~40℃,湿度 20%~80%,温度变化率小于 15℃/h,不应有凝露。

8.2.2 解调仪安装

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%;

8.2.3 配置电源

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。

8.2.4 设备检查

通电前,设备检查应符合下列规定。

- 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,非常重要,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。

8.2.5 设备操作

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。

8.2.6 设备开机

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。

8.2.7 机柜通电

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。

9 性能测试

9.1 一般规定

9.1.1 测试设备要求

使用测试设备,检查整个光路完整性,熔接点衰减应符合 5.3 的规定。

9.1.2 指示灯

设备通电稳定后,指示灯应显示正常。

9.1.3 安装调试

全光型风险监测预警系统安装完成后应进行调试。

9.2 测试内容

全光型风险监测预警系统应进行模拟测试,包括振动(声音)/应变误差验证、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。

9.3 振动(声音)/应变误差验证

9.3.1 振动(声音)误差验证

9.3.1.1 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。

9.3.1.2 每处测试点应分别进行机械和人工振动(声音)测试。

9.3.1.3 测试工具选择应符合下列规定:

- a) 施工机械测试宜为小型挖掘机,斗容 $0.1\text{ m}^3\sim 0.3\text{ m}^3$,铲斗挖掘力小于 60 kN;
- b) 人工工具应选用铁锹、镐等普通人工挖掘工具;
- c) 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;
- d) 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。

9.3.1.4 机械测试方法应符合下列规定:

- a) 机械设备到达测试段指定位置后,熄火静止 5 min;
- b) 从垂直给排水管道(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;

- c) 施工机械测试分为机械启动、行驶以及拍打、挖掘、刷蹭、推平地面等常见的施工动作。
- d) 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。

9.3.1.5 人工测试方法应符合下列规定：

- a) 从垂直距离给排水管道(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；
 - b) 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。

9.3.1.6 合格判定。

发生即将危及给排水管道安全的各种施工时，系统能够做出异常事件种类判断并及时发出预警；定位误差 $\leq \pm 5$ m。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%)。合格标准见表 6。

表 6 合格标准

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 $\leq 1\%$

9.3.2 应变误差验证

9.3.2.1 应变信号解调仪校准，将标准光纤应变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，对应变信号解调仪进行校准。

9.3.2.2 取合适长度的被测单端光纤应变传感器，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，再用标准应变信号解调仪测试到的应变变量，对被测单端光纤应变传感器进行校准。

9.3.2.3 取合适长度的被测环路光纤应变传感器，按规定接到标准应变信号解调仪上，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，再用标准应变信号解调仪测试到的应变变量对被测环路光纤应变传感器进行校准。

9.3.2.4 测试步骤按下列方法：

- a) 将应变信号解调仪和光纤应变传感器按单端和环路的方式正确连接；
- b) 给在被监测对象施加外力，使被监测对象发生形变；
- c) 每级取 5 组形变量数据，测量范围应包含量程上限和下限。

9.3.3.5 应变误差按公式(1)计算：

$$\epsilon = \Delta L / L \dots\dots\dots (1)$$

式中：

ϵ 是应变变量， ΔL 是被监测物形变量， L 是被监测物原长度。

9.3.3.6 应变误差计算。

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

9.3.3.7 合格判定:测量 5 组应变数据,每组形变量误差值不应大于 $\pm 10 \mu\epsilon$ 。应变合格标准见表 7。

表 7 应变合格标准

应变量程	测量范围($\mu\epsilon$)	合格标准
A 级	10~50	误差值不应大于 $\pm 10 \mu\epsilon$
B 级	50~500	误差值不应大于 $\pm 10 \mu\epsilon$
C 级	500~1 000	误差值不应大于 $\pm 10 \mu\epsilon$
D 级	1 000~2 000	误差值不应大于 $\pm 10 \mu\epsilon$

9.4 定位误差验证

9.4.1 分布式光纤振动(声音)传感系统

9.4.1.1 取样方法: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 1m,进行温度定位误差测试,测试 10 次取平均值。

9.4.1.2 测试步骤:

- 将振动(声音)信号解调仪布置在待测给排水管道的起点;
- 选择测试点,测量测试点到起点的实际距离;
- 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 30s 后读取系统所测数据,每个动作重复 10 次,结果取平均值;

9.4.1.3 合格判断:断振动(声音)解调仪显示的每个测试点到起点的距离是否为实际距离。

9.4.2 分布式光纤应变传感系统

9.4.2.1 取样方法: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 50m,进行应变定位误差测试,取标准形变长度中间点,作为定位点,测试 10 次取平均值。

9.4.2.2 测试步骤:

- 将应变信号解调仪布置在待测给排水管道的起点;
- 选择测试点,测量测试点到起点的实际距离;
- 在每个应变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。

9.4.3.3 合格判断:判断应变解调仪显示的每个测试点到起点的距离是否为实际距离。

9.4.3 误差计算

定位误差按公式(2)计算:

$$\Delta X = |X_i - X_0| \quad \dots\dots\dots (2)$$

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)。

9.4.4 合格判定

所有位置测试点的定位误差均不应大于 1 m。

9.5 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。

9.6 风险监测预警平台综合测试

9.6.1 信号强度和有效距离

在测试前应确保信号强度和测试距离符合测试需求。

9.6.2 信息内容

正常和异常信号包含的信息内容:时间、坐标、长度、振幅、应变变量等数据。

9.6.3 波形图展示

将实时采集的正常和异常信号通过系统波形图进行展示。

10 风险监测预警平台

10.1 功能要求

10.1.1 软件环境

风险监测预警平台部署环境应符合 GB/T 9361 规定的 C 级及以上标准。

10.1.2 显示

10.1.2.1 风险监测预警平台应集成地理信息系统显示实时地图,并能显示对应被监测给排水管道图,显示关键节点位置的标识及信息。

10.1.2.2 点击给排水管道图应能显示监测给排水管道实时应变、振动(声音)坐标图和历史坐标图,并应符合下列规定:

- a) 横坐标显示给排水管道的位置坐标,并能放大到 1.0 m 每格和缩小至能观测全部波形;
- b) 纵坐标显示应变、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。

10.1.2.3 应变坐标图:

- a) 应变的显示单位采用 $\mu\epsilon$,显示分辨率为 $1 \mu\epsilon$;
- b) 形变量速率的显示单位采用 $\mu\epsilon/\text{min}$,显示分辨率为 $1 \mu\epsilon/\text{min}$;
- c) 位置的显示单位采用 m,显示分辨率为 0.1 m。

10.1.2.4 振动(声音)坐标图:

- a) 振动(声音)的显示单位采用 dB,显示分辨率为 0.1 dB;
- b) 温升速率的显示单位采用 Hz,显示分辨率为 Hz;
- c) 位置的显示单位采用 m,显示分辨率为 1 m。

10.1.2.5 报警应有实时的可视标识,并应有声光提示,并应符合下列规定:

- 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。

10.1.3 报警

10.1.3.1 监测应实现给水、排水管道沿线的异常数据按照超限报警,报警阈值可分段,分级设置。

10.1.3.2 监测应具备布防和撤防功能。

10.1.3.3 给排水管道沿线的异常振动(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 8 的规定。

表 8 异常报警准确度

事件内容	事件级别	准确度
机械施工	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%
人为挖掘	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%
管道泄漏	一级预警、二级预警、三级预警	≥95%

10.1.3.4 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。

10.1.3.5 所有报警响应时间不应超过 2 min。

10.1.3.6 监测预警平台可通过 PC 端、移动端等途径通知相关人员。

10.1.4 数据存储与调阅

10.1.4.1 监测预警平台应能完整存储给排水管道运行时的数据,包含给排水管道应变、机械性外力危害事件预警数据、给排水管道相应位置数据等。

10.1.4.2 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,恢复后应能自恢复数据存储功能。

10.1.4.3 支持报警记录与历史事件处理记录报告生成及导出。

10.1.5 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。

10.1.6 平台标准

10.1.6.1 基础数据

给排水管网监测预警系统基础数据库的建设应满足信息化和智能化的要求,并应符合下列规定:

- a) 数据对象应覆盖所有受监测的给排水管网;
- b) 监测管网设施的数据应包含管道本身的空间拓扑关系数据、属性数据、分布式监测数据、应急抢险闭环管理数据;
- c) 给排水管网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,并应符合现行行业标准 CJJ/T 100 的有关规定;
- d) 给排水管网监测预警系统中设备的属性数据应覆盖管网全生命周期;

- e) 给排水管网监测预警系统中的分布式监测数据应包括下列内容:管网的压力、形变值、振动(声音)幅度;

给排水管网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、生产作业的计划 and 执行记录、事件日志等,并应符合下列规定。

- a) 应急抢险闭环管理的数据保留时间应满足业务要求及服务器存储能力;条件许可时,宜长期保存。
- b) 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。
- c) 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。

10.1.6.2 数据管理

10.1.6.2.1 数据管理应建立数据质量监督和评价体系,并应符合下列规定:

- a) 应能实现量化考核;
- b) 应能对数据的创建、利用、变更、销毁的过程实现质量管控;

10.1.6.2.2 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。

10.1.6.2.3 数据采集应明确来源、内容、范围及精度要求,并应符合下列规定:

- a) 数据应适时采集并建立持续的更新机制;
- b) 采集的数据应包含时间标签;
- c) 采集的数据应包含位置的数据;
- d) 采集的数据应包含事件的数据。

10.1.6.2.4 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。

10.1.6.3 平台及通信

要求如下。

- a) 给排水管网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) 给排水管网监测预警平台应结合市场主流信息技术的发展方向。
- c) 给排水管网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) 给排水管网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) 给排水管网监测预警平台的信息通信应符合下列规定:
 - 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。

10.2 监测预警平台布置及安装要求

10.2.1 服务端

监测预警平台的服务端宜设置在业主要求的服务器或云服务器上。

10.2.2 客户端

监测预警平台的客户端(显示界面和声光报警部分)应设置在机房内并与其他管理平台集成显示。

10.2.3 安全等级

监测预警平台安全等级应满足国家信息安全等级保护三级认证。

10.3 监测预警平台测试要求

10.3.1 显示测试

10.3.1.1 在监测预警平台上缩放地图时,给排水管道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。

10.3.1.2 选择任意段点打开坐标图,做缩放坐标图操作。

10.3.2 报警测试

10.3.2.1 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。

10.3.2.2 随机选择一个测试段,设置报警阈值,做实际应变测试,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。

10.3.2.3 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。

10.3.2.4 以上测试项目分别做 3 组测试。

10.3.3 数据存储与调阅

10.3.3.1 通过数据库可视化管理软件,查看数据库。

10.3.3.2 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。

10.3.3.3 运行完各项测试后,操作各类报表,报表数据规范完整。

11 验收报告

11.1 验收内容及范围

11.1.1 项目验收方式

线上验收和线下验收方式。

11.1.2 项目验收内容

验收报告见附录 A,内容如下:

- a) 硬件系统验收:包含分布式光纤传感器、分布式光纤振动(声音)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:包含收报告、测试文档、技术文档、操作手册、用户手册。

12 运行和维护

12.1 运行维护服务内容

12.1.1 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。

12.1.2 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。

12.1.3 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,一般应为3个~6个月。

12.1.4 定期清洁设备,防止灰尘、污垢等影响设备正常运行,一般应为三至六个月。

12.2 突发事件应急处理

12.2.1 检查硬件系统和软件系统问题。

12.2.2 排查问题,找到问题关键点,形成解决方案,并记录和反馈。

12.2.3 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。

12.2.4 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。

12.3 系统更新

12.3.1 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。

12.3.2 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。

12.3.3 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。

附 录 A
(资料性)
验收报告模板

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：