

ICS 75.200

CCS E24

团 体 标 准

T/JSE 5-2025

液化天然气全容罐内罐 光纤传感应变监测系统技术规范

Technical Specification for Optical Fiber Sensing Strain
Monitoring System in the Inner Tank of Liquefied Natural Gas Full
Containment Tanks

2025-09-01 发布

2025-11-01 实施

江苏省能源行业协会 发布

目 次

1 范围 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 系统组成及参数要求..... 2

 4.1 系统组成..... 2

 4.2 参数要求..... 2

5 技术要求..... 3

 5.1 功能要求..... 3

 5.2 测点布置..... 3

 5.3 安装要求..... 3

 5.4 抗干扰性要求..... 3

 5.5 防爆要求..... 4

6 系统性能测试及调试要求..... 4

 6.1 性能测试..... 4

 6.2 安装时的测试要求..... 4

 6.3 调试要求..... 4

附录 A（资料性）液化天然气全容罐内罐光纤传感应变监测系统性能测试 5

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》的规则起草。

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这些专利的责任。

本文件由江苏省能源行业协会提出并解释。

本文件由江苏省能源行业协会归口。

本文件起草单位：江苏国信液化天然气有限公司、江苏国信天然气有限公司、中国科学院上海微系统与信息技术研究所、江苏省特种设备安全监督检验研究院、寰球工程项目管理（北京）有限公司、国家管网集团工程技术创新有限公司、国家管网集团液化天然气接收站管理分公司、上海拜安传感技术有限公司、中国五环工程有限公司、常州大学、中国舰船研究院、中国化学工程第十四建设有限公司、德和科技集团股份有限公司、上海电力建筑工程有限公司。

本文件主要起草人：陈焰、白改玲、陈宁、吴胜平、严实春、钟少龙、李兆慈、吴军、冯小蔚、余晓峰、李柏松、程朗、金吉、赵鹏程、吕孝飞、徐猛、罗涛、胡育昱、潘传禹、徐斌、叶鹏、李渴望、管金国、杜保军、李承兵、刘日林、凌晶芳、李健、宫翠玉、周威、沈寅飞、马振楠、季红波、李政宇、孟海建、刘延。

本文件在执行过程中的意见或建议反馈至江苏省能源行业协会（南京市建邺区庐山路246号金融城3号楼9层）。

本文件为首次发布。

液化天然气全容罐内罐光纤传感应变监测系统技术规范

1 范围

本文件规定了液化天然气全容罐金属内罐光纤传感应变监测系统的构架、主要部件参数、技术要求、测试要求、调试要求。

本文件适用于应用了光纤应变传感器的用于储存液化天然气等低温介质的 100000m³ 及以上全容罐金属内罐应变监测系统。

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 51156 液化天然气接收站工程设计规范

GB/T 4208 外壳防护等级

GB/T 17626.1 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论

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 17626.3 电磁兼容 试验和测量技术 射频电磁场辐射抗扰度试验

GB/T 17626.4 电磁兼容 试验和测量技术 电快速瞬变脉冲群抗扰度试验

GB/T 17626.5 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.6 电磁兼容 试验和测量技术 射频场感应的传导骚扰抗扰度

GB/T 17626.8 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 3836.1 爆炸性环境 第 1 部分：设备通用要求

GB/T 15972.10 光纤试验方法规则

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 全容罐 full containment tank

由内罐和外罐组成。内罐为钢制自支撑式结构，用于储存低温易燃液体；外罐为独立的自支撑式带拱顶的闭式结构，用于承受气相压力和绝热材料，并可容纳内罐溢出的低温易燃液体，其材质一般为钢质或者混凝土。

【来源：GB 51156-2015，2.0.14】

3.2 光纤应变传感器 optical fiber strain sensor

一种利用光学敏感元件的反射、透射光谱来感知物体应变，并通过光纤传输信号的传感器，包括光纤光栅、F-P 干涉型等光纤传感器。

3.4 光谱分析仪 spectrum analyzer

基于波长连续可调谐激光器发射窄线宽激光对光纤传感器的反射光谱或透射光谱进行精细化波长连续扫描探测，获得被测光纤传感器的波长、相位或波长-相位复合信号的设备。

3.5 光功率动态范围 dynamic range of optical power

光谱分析仪能够正常工作的最大输入光功率与最小输入光功率之差。

3.6 监控主机 monitoring host

接收、处理、存储和转发来自前端监控传感器数据的设备。

4 系统组成及参数要求

4.1 系统组成

系统由光纤应变传感器、传输光缆、光谱分析仪、传输电缆和监控主机组成，温度补偿可采用罐表温度计、传感器自带补偿或单独设置光纤测温元件实现，见图 1。

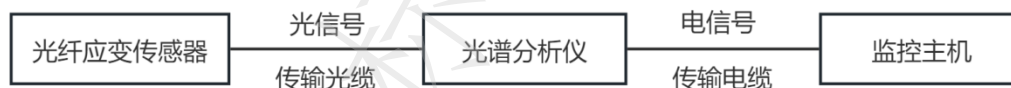


图 1 液化天然气全容罐内罐光纤传感应变监测系统组成

4.2 参数要求

4.2.1 光纤应变传感器

- a) 测量范围：-3000 $\mu\epsilon$ ~+3000 $\mu\epsilon$ ；
- b) 线性误差 $\leq 2\%F.S$ ；
- c) 分辨力 $\leq 0.5\mu\epsilon$ ；
- d) 工作温度范围：-170 $^{\circ}C$ ~60 $^{\circ}C$ ，温度补偿后的测量误差 $\leq 5\%F.S$ ；
- e) 传感器封装宜采用焊接工艺。

4.2.2 光谱分析仪

- a) 光功率：单通道光功率 $\geq -10dBm$ ；
- b) 波长范围：1525nm~1565nm；
- c) 通道数：不小于 32 通道；

- d) 所有通道同步采集速率 ≥ 10 次/秒;
- e) 接收光功率动态范围 $\geq 30\text{dB}$;
- f) 防护等级: 不低于 GB/T 4208 规定的 IP20。

4.2.3 传输光缆

- a) 工作温度范围: $-170^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$;
- b) 抗拉承载力 $\geq 1500\text{N}$;
- c) 全温区衰减 $\leq 0.4\text{dB/km}$ 。

5 技术要求

5.1 功能要求

- a) 测试数据可存储于监控主机, 并可对测试数据进行查看和分析;
- b) 具备网络通信功能;
- c) 具备设备自身状态在线自检功能;
- d) 具备报警阈值设置和告警指示功能。

5.2 测点布置

5.2.1 应变监测系统应能监测液化天然气全容罐内罐应变变化量, 在储罐内罐外壁上, 沿环向应平均设置不少于 4 个垂直监测面, 每个监测面纵向应设置不少于 8 个监测点并集中在罐壁中下部, 监测点数量可根据实际储罐罐容需求作适当调整。

5.2.2 每个监测点应布置不少于 2 只光纤应变传感器, 分别监测储罐内罐环向和纵向应变变化, 传感器与焊缝距离不宜超过 300mm。

5.3 安装要求

5.3.1 光纤应变传感器应直接焊接于内罐外壁, 应采用点焊、储能焊等无损伤焊接工艺, 光纤应变传感器与罐壁的直接接触部分(焊脚)应与内罐壁板材料相同。

5.3.2 传输光缆应采用与罐壁相同的材质的垫板固定, 垫板间距不宜大于 3m, 安装位置宜避开内罐壁板焊缝 300mm 以上。

5.4 抗干扰性要求

5.4.1 静电放电抗扰度

光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.2 规定的严酷等级为 3 级的静电放电干扰。

5.4.2 射频电磁场辐射抗扰度

光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.3 规定的严酷等级为 3 级的射频电磁场辐射干扰。

5.4.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.4 规定的严酷等级为 3 级的电快速瞬变脉冲群干扰。

5.4.4 浪涌（冲击）抗扰度

光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.5 规定的严酷等级为 3 级的浪涌（冲击）干扰。

5.4.5 射频场感应的传导骚扰抗扰度

光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.6 规定的严酷等级为 3 级的射频场感应的传导骚扰。

5.4.6 工频磁场抗扰度

光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.8 规定的严酷等级为 4 级的工频磁场干扰。

5.5 防爆要求

光纤应变传感器需达到 GB/T 3836 标准所规定的 IIA 级防爆性能，且其温度组别需符合 T3 标准。

6 系统性能测试及调试要求

6.1 性能测试

应变监测系统在安装前应通过 -170℃~60℃ 温度范围内的性能测试，测试项目包括但不限于量程测试、线性误差测试、分辨力测试、全温区测量误差测试等，测试方法参见附录 A。

6.2 安装时的测试要求

在安装前后，光纤应变传感器的光谱信号应满足：

- a) 边模抑制比 $\geq 6\text{dB}$;
- b) 3dB 带宽 $\leq 0.6\text{nm}$;
- c) 中心波长偏差 $\leq \pm 1\text{nm}$ 。

6.3 调试要求

6.3.1 连接检查

- a) 检查光纤连接器和接口，确保清洁无尘；
- b) 确认光谱分析仪和光纤应变传感器的连接正确，输出信号路径畅通。

6.3.2 系统设置

- a) 设置光谱分析仪软件参数，包括采集速率、传感器参数、噪声电压等；
- b) 打开数据保存功能，设置好数据存储格式，检查确认数据采集速率与存储频率匹配。

6.3.3 记录调试过程中的所有参数、光谱图和检测到的问题。

6.4 应变监测系统应在安装调试完成后、投运前至少进行一次系统状态确认。

附 录 A

(资料性附录)

液化天然气全容罐内罐光纤传感应变监测系统性能测试

1 测试环境

采用 GB/T 15972.10《光纤试验方法规则》第 5 节“测量和试验”规定的标准大气条件（详见表 1）。

表1 大气条件标准范围

序号	大气条件	标准范围
1	温度（℃）	22±2
2	相对湿度（%）	20~90
3	大气压	校试场环境气压

2 测试条件

所需主要试验设备见表 2。

表2 试验设备名称

序号	名称	技术指标	数量
1	高低温循环箱	温度范围-170℃~60℃，精度±1℃	1 台
2	高精度温度计	精度±0.5℃	1 支
3	应力应变试验台	0kN~50kN，精度 0.1 级	1 台

3 测试安装

先将光纤应变传感器安装在应力应变试验台上，应力应变试验台放入高低温循环箱内，通过传输光缆连接光纤应变传感器和光谱分析仪，光谱分析接入测试电脑，安装及连接关系如图 2 所示。

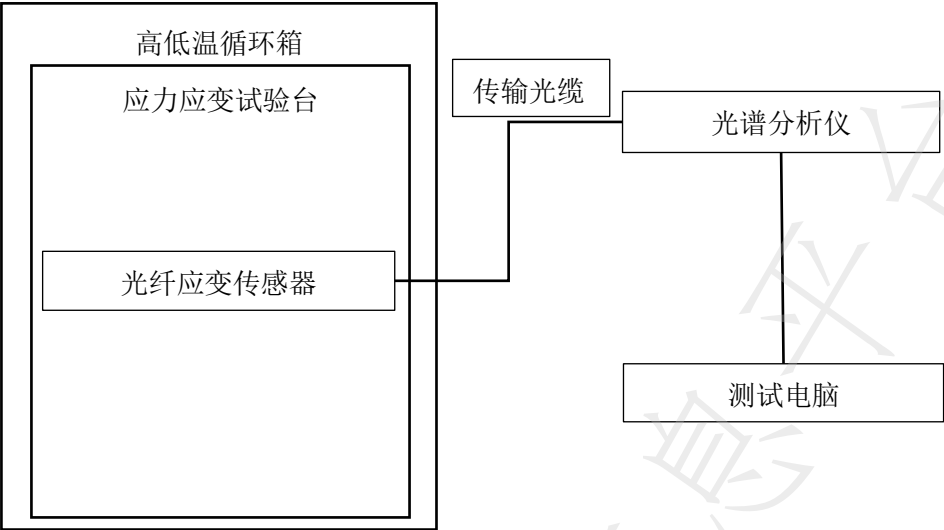


图 2 测试系统安装及连接图

4 量程测试

4.1 测试步骤

- a) 常温下对光纤应变传感器施加应变，加载点：-3200 $\mu\epsilon$ 、-3000 $\mu\epsilon$ 、-2000 $\mu\epsilon$ 、-1000 $\mu\epsilon$ 、0 $\mu\epsilon$ 、1000 $\mu\epsilon$ 、2000 $\mu\epsilon$ 、3000 $\mu\epsilon$ 、3200 $\mu\epsilon$ ；
- b) 每个加载点稳定 30s 后记录输出值；
- c) 正反行程循环 3 次。

4.2 判定标准

量程覆盖 -3000 $\mu\epsilon$ ~+3000 $\mu\epsilon$ ，超量程点（ $\pm 3200\mu\epsilon$ ）数据需可记录。

4.3 测试数据记录表

表3 量程测试数据记录表

试验点（ $\mu\epsilon$ ）	一次行程（ $\mu\epsilon$ ）	二次行程（ $\mu\epsilon$ ）	三次行程（ $\mu\epsilon$ ）
-3200			
-3000			
-2000			
-1000			
0			
1000			
2000			
3000			

试验点 (με)	一次行程 (με)	二次行程 (με)	三次行程 (με)
3200			
结果判定			

5 线性误差测试

5.1 测试步骤

a) 常温下对光纤应变传感器施加应变，加载点：-3000με、-2000με、-1000με、0με、1000με、2000με、3000με；

b) 计算各点输出值与理论值的偏差：

$$\text{线性误差} = \frac{|\text{输出值} - \text{理论值}|}{\text{量程}} \times 100\%$$

5.2 判定标准

线性误差 ≤ 2%F.S。

5.3 测试数据记录表

表4 线性误差测试数据记录表

试验点 (με)	输出值 (με)	线性误差 (F.S)
-3000		
-2000		
-1000		
0		
1000		
2000		
3000		
结果判定		

6 分辨力测试

6.1 测试步骤

a) 传感器预加载至 0με；

b) 阶梯式施加微应变：+0.5με、-0.5με、+0.5με、-0.5με；

c) 记录每次变化时传感器的可识别输出波动。

6.2 判定标准

输出变化量 $\geq$ 理论值的 90% ($0.45\mu\epsilon$)。

6.3 测试数据记录表

表5 分辨力测试记录表

测试阶段	理论变化值 ($\mu\epsilon$)	实测值 ($\mu\epsilon$)	变化量 ($\mu\epsilon$)	结果判定
初始状态	0	—	—	—
第一次增加	$+0.5\mu\epsilon$			
第一次减少	$-0.5\mu\epsilon$			
第二次增加	$+0.5\mu\epsilon$			
第二次减少	$-0.5\mu\epsilon$			
第三次增加	$+0.5\mu\epsilon$			
第三次减少	$-0.5\mu\epsilon$			

7 全温区测量误差测试

7.1 测试步骤

- 按 60°C 、 40°C 、 20°C 、 0°C 、 -20°C 、 -40°C 、 -60°C 、 -80°C 、 -100°C 、 -120°C 、 -140°C 、 -160°C 、 -170°C 阶梯降温，每个温度点至少保温 1 小时，温度波动 $\leq\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；
- 在各温度点对传感器施加 $2000\mu\epsilon$ 载荷；
- 记录温度稳定后的传感器输出值；
- 计算温度补偿后的测量误差：

$$\text{测量误差} = \frac{|\text{输出值} - \text{理论值}|}{\text{量程}} \times 100\%$$

7.2 判定标准

全温区测量误差 $\leq 5\%$ F.S。

7.3 测试数据记录表

表6 温度系数测试数据记录表

温度值 ($^{\circ}\text{C}$)	加载值	测量值	误差	判定
60				
40				
20				
0				

温度值 (°C)	加载值	测量值	误差	判定
-20				
-40				
-60				
-80				
-100				
-120				
-140				
-160				
-170				