

ICS

CCS

JSE

团 体 标 准

T/JSE XXXX-YYYY

大型液化天然气全容罐
内罐应力应变监测系统技术规范

Technical specification for stress-strain monitoring system of inner
tanks of large liquefied natural gas full containment tank

(征求意见稿)

2024X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 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 系统架构及主要部件参数.....	2
4.1 监测系统的架构.....	2
4.2 监测系统的参数.....	2
5 技术要求.....	3
5.1 工作电源.....	3
5.2 功能要求.....	3
5.3 系统布置要求.....	3
5.4 安装要求.....	3
5.5 系统抗干扰性要求.....	3
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
7 包装、装箱、贮存、运输.....	5
7.1 包装.....	5
7.2 装箱.....	5
7.3 贮存.....	5
7.4 运输.....	5
附 录 A.....	6

前 言

本标准按照 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。

请注意本标准的某些内容可能涉及专利。本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由江苏省能源行业协会提出并解释。

本标准由江苏省能源行业协会归口。

本标准起草单位：江苏国信液化天然气有限公司、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、江苏国信天然气有限公司、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、南京华宝工程检测有限公司。

本标准主要起草人：陈焰、白改玲、陈宁、吴胜平、严实春、钟少龙、李兆慈、吴军、冯小蔚、程朗、赵鹏程、吕孝飞、金吉、徐猛、罗涛、胡育昱、潘传禹、刘日林、凌晶芳、李健、沈寅飞、马振楠、季红波、李政宇、孟海建、李渴望、管金国、杜保军、李承兵、姚彩艳、刘延。

本标准为首次发布。

大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统技术规范

1 范围

本文件规定了大型液化天然气全容罐内罐应力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、包装运输贮存要求。

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大型全容罐内罐应力应变监测系统。

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 51156-2015 液化天然气接收站工程设计规范

GB/T 18901.1-2002 光纤传感器 第1部分：总规范

GB/T 13992-2010 金属粘贴式电阻应变计

JG/T 422-2013 土木工程用光纤光栅应变传感器

GB/T 17623.1-2006 电磁兼容 试验和测量技术 抗扰度试验总论

GB/T 17626.2-2018 电磁兼容 试验和测量技术 静电放电抗扰度试验

GB/T 17626.3-2016 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 17626.4-2018 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 17626.5-2008 电磁兼容 试验和测量技术 浪涌（冲击）抗扰度试验

GB/T 17626.6-2017 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 17626.8-2017 电磁兼容 试验和测量技术 工频磁场抗扰度试验

GB/T 3836.1-2021 爆炸性环境 第1部分：设备通用要求

GB/T 36911-2018 运输包装指南

GB/T 15972.10-2008 光纤试验方法规则

3 术语和定义

GB 51156-2015、GB/T 18901.1-2002 界定的以及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。

3.2 应力应变监测系统 relative deformation monitoring system

对应力应变进行实时监控和分析，由光纤应变传感器、传输光缆、全光谱分析仪和监控主机组成的监测系统。

3.3 光纤应变传感器 fibre optic strain sensor

一种利用光纤的光学特性来检测和测量物体应变的传感器。

3.4 全光谱分析仪 full optic spectrum analyzer

基于精细化光谱扫描探测原理，为光纤应变传感器提供激光信号激励并接收其反射光谱信号，转换为数字输出信号。

3.5 监控主机 monitoring host

接收、处理、存储和转发来自前端监控设备的视频、音频和其他传感器数据。

4 系统架构及主要部件参数

4.1 监测系统的架构

4.1.1 监测系统的架构如图 1 所示。



图 1 大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统架构

4.1.2 光纤应变传感器将被测物体应变变化量以光谱信号反射给全光谱分析仪，全光谱分析仪将光谱信号转换为电信号传输给监控主机。

4.2 监测系统的参数

4.2.1 光纤应变传感器参数要求

- a) 量程：-2000~+2000 $\mu\epsilon$ ；
- b) 精度 $\leq 2\%F.S$ ；
- c) 分辨率 $\leq 0.5\mu\epsilon$ ；
- d) 应能在-170 $^{\circ}C$ ~60 $^{\circ}C$ 温度范围内工作，且由于温度变化引起的精度变化范围应 $\leq 5\%$ ；
- e) 工作寿命 ≥ 25 年。

4.2.2 全光谱分析仪参数要求

- a) 光功率：单通道光功率 $\geq -10dBm$ ；
- b) 波长范围：1525~1565nm；
- c) 采样频率 $\geq 100Hz$ ；

d) 动态范围: $\geq 30\text{dB}$ 。

4.2.3 传输光缆参数要求

a) 罐内传输光缆应满足工作温度 $-170^{\circ}\text{C}\sim 60^{\circ}\text{C}$ 要求;

b) 抗拉强度: 长期 $\geq 600\text{N}$, 短期 $\geq 1500\text{N}$;

c) 衰减 $\leq 0.4\text{dB/km}$ 。

5 技术要求

5.1 工作电源

a) 电源电压: $220\text{V}(1\pm 10\%)$;

b) 电源频率: $50\text{Hz}(1\pm 2\%)$;

c) 功率因数: > 0.95 。

5.2 功能要求

5.2.1 基本功能要求

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管理;

b) 具备网络通信功能;

c) 具备设备自身状态在线自检功能。

5.2.2 高级功能要求

a) 具备报警阈值设置和告警指示功能;

b) 具备网络和外接北斗时钟模块时钟同步校准功能;

c) 具备多台设备之间时钟自动同步功能。

5.3 系统布置要求

大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统应能监测内罐应变变化量。宜在大型液化天然气全容罐内罐壁上设置监测点, 周向监测点数量不宜少于 4 个、轴向监测点数量不宜少于 8 个并集中在内罐中下部, 以监测内罐应变变化量。

5.4 安装要求

大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统的光纤应变传感器应直接焊接于内罐壁, 应采用不损害内罐壁的焊接技术。光纤应变传感器安装位置宜避开内罐壁板焊缝 3m 以上。

5.5 系统抗干扰性要求

5.5.1 静电放电抗扰度

全光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.2-2018 规定的严酷等级为 3 级的静电放电干扰。

5.5.2 射频电磁场辐射抗扰度

全光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.3-2016 规定的严酷等级为 3 级的射频电磁场辐射干扰。

5.5.3 电快速瞬变脉冲群抗扰度

全光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.4-2018 规定的严酷等级为 3 级的电快速瞬变脉冲群干扰。

5.5.4 浪涌（冲击）抗扰度

全光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.5-2008 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

全光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.6-2017 规定的严酷等级为 3 级的射频场感应的传导骚扰。

5.5.6 工频磁场抗扰度

全光谱分析仪应能够承受 GB/T 17626.8-2017 规定的严酷等级为 4 级的工频磁场干扰。

5.6 防爆要求

光纤应变传感器需达到 GB3836 标准所规定的 IIA 级防爆性能要求，且其温度组别需符合 T3 标准，优先选用本安型设备。

6 系统性能测试及调试要求

6.1 性能测试

大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统应在交货前进行-170~60℃温度范围内的性能测试，以验证该系统可满足监测需求，测试项目包括但不限于：量程测试、精度测试、重复性测试、灵敏系数测试、温度系数测试、漂移测试、蠕变测试，测试方法参见附录 A。

6.2 安装时的测试要求

在安装前后，解调光纤应变传感器的光谱信号，应满足：

- a) 边模抑制比：≥6dB；
- b) 3db 带宽≤0.6nm；
- c) 中心波长偏差≤±1nm。

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) 确认全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) 配置全光谱分析仪软件参数，包括采样率、灵敏度、噪声电压等；
- b) 打开数据保存功能，设置好数据存储格式。

6.3.3 文档记录

- a) 记录调试过程中的所有参数、光谱图和检测到的问题；
- b) 编写调试报告，以备后续参考和维护。

7 包装、装箱、贮存、运输

7.1 包装

大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统应逐个进行单元包装。包装材料及方式对产品本体、引出线、标志和性能不应产生有害影响，引出线不应变形。包装盒上应注明：制造厂商标或厂名、型号、数量、生产批号、检验印章、出厂日期及订货单位。

7.2 装箱

检验报告记录装入箱内，包装箱上至少应标有小心轻放、将包装好的产品合格证、向上、防潮等标志名称和（或）图形符号。

7.3 贮存

包装好的产品应放在-10℃~40℃、湿度范围<80% RH、周围无酸、碱或其他有害物质的库房中。存放库房应保持通风、具有防雨、防潮、防霉、防砂尘、防静电、防爆、防雷电、防啮齿类动物设施。

7.4 运输

包装好的产品可采用一般交通方式运输，但应避免雪雨的直接淋袭和机械损伤。

附录 A

(资料性附录)

大型液化天然气全容罐内罐应力应变监测系统性能测试

1 测试环境

采用 GB/T 15972.10-2008《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 (°C)	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

2.1 试验电源

220V/AC，功率不低于 100W。

2.2 主要试验设备

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°C~60°C 精度±1 °C	1 台
2	高精度温度计	精度±0.5°C	1 支
3	应力应变试验台	0-50KN，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全光谱分析仪，全光谱分析接入测试电脑，安装及连接关系如图 2 所示。

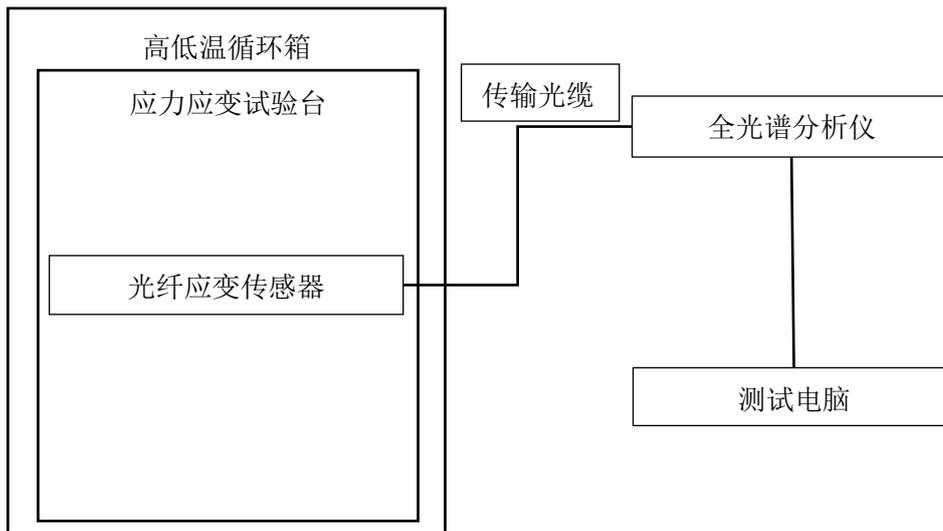


图 2 测试系统安装及连接关系图

4 量程标定测试

4.1 测试流程

a. 在标准环境条件下，按图 2 所示连接，将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上，且保证光纤应变传感器不受外力作用；

b. 进行 3 次正反行程的应变拉伸试验（试验点为 $-2200\mu\epsilon$ 、 $-2000\mu\epsilon$ 、 $-1000\mu\epsilon$ 、 $0\mu\epsilon$ 、 $1000\mu\epsilon$ 、 $2000\mu\epsilon$ 、 $2200\mu\epsilon$ ），查看并记录试验数据。

4.2 结果判定

结果判定依据：量程 $\geq \pm 2000\mu\epsilon$ 。

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 ($\mu\epsilon$)
-2200			
-2000			
-1000			
0			
1000			
2000			
2200			
量程 ($\mu\epsilon$)			

试验点 ($\mu\epsilon$)	一次行程 ($\mu\epsilon$)	二次行程 ($\mu\epsilon$)	三次行程 ($\mu\epsilon$)
结果判定			

5 精度测试

5.1 测试流程

a.在标准环境条件下,按图 2 所示连接,将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上且保证光纤应变传感器不受外力作用;

b.依次设置高低温循环箱温度为 60°C 、 40°C 、 20°C 、 0°C 、 -20°C 、 -40°C 、 -140°C 、 -160°C 、 -170°C , 分别在每个温度点对光纤应变传感器进行应变拉伸试验, 拉伸值为 $0\mu\epsilon$ 、 $500\mu\epsilon$ 、 $1000\mu\epsilon$ 、 $1500\mu\epsilon$ 、 $2000\mu\epsilon$, 计算其精度。

5.2 结果判定

结果判定依据: 精度 $\leq 2\%F.S.$

5.3 测试数据记录表

表4 精度测试数据记录表

温度点: $^{\circ}\text{C}$	测量值	差值	精度
拉伸值 ($\mu\epsilon$)			
0			
500			
1000			
1500			
2000			
结果判定			

6 重复性测试

6.1 测试流程

a.在标准环境条件下,按图 2 所示连接,将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上且保证光纤应变传感器不受外力作用;

b.进行 3 次应变拉伸试验, 拉伸值为 $-2000\mu\epsilon$ 、 $-1000\mu\epsilon$ 、 $0\mu\epsilon$ 、 $1000\mu\epsilon$ 、 $2000\mu\epsilon$, 查看并记录试验数据。

c.计算每次行程的重复性数值。

6.2 结果判定

结果判定依据: 重复性 $\leq 2\%F.S.$

6.3 测试数据记录表

表5 重复性测试数据记录表

试验点 ($\mu\epsilon$)	一次行程 ($\mu\epsilon$)	二次行程 ($\mu\epsilon$)	三次行程 ($\mu\epsilon$)
-2000			
-1000			
0			
1000			
2000			
重复性			
结果判定			

7 灵敏系数测试

7.1 测试流程

a.在标准环境条件下，按图 2 所示连接，将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上且保证光纤应变传感器不受外力作用；

b.依次设置高低温循环箱温度为 60°C 、 40°C 、 20°C 、 0°C 、 -20°C 、 -40°C 、 -140°C 、 -160°C 、 -170°C ，温度到设置点后保存至少 10min 后开始测试，在每个温度点分别对传感器进行 3 次应变拉伸，拉伸值为 $-2000\mu\epsilon$ 、 $-1000\mu\epsilon$ 、 $0\mu\epsilon$ 、 $1000\mu\epsilon$ 、 $2000\mu\epsilon$ ；

c.记录检测时传感器的中心波长值；

7.2 结果判定

结果判定依据：灵敏系数 $(1000 \pm 50) \mu\epsilon/\text{nm}$ 。

7.3 测试数据记录表

表6 灵敏系数测试数据记录表

温度值 ($^{\circ}\text{C}$)			
拉伸值 ($\mu\epsilon$)	一次行程 (nm)	二次行程 (nm)	三次行程 (nm)
-2000			
-1000			
0			
1000			
2000			
灵敏度系数 ($\mu\epsilon/\text{nm}$)			
结果判定			

8 温度系数测试

8.1 测试流程

a.在标准环境条件下，按图 2 所示连接，将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上且保证光纤应变传感器不受外力作用；

b.依次设置高低温循环箱温度为 60℃、40℃、20℃、0℃、-20℃、-40℃、-60℃、-80℃、-100℃、-120℃、-140℃、-160℃、-170℃，温度到设置点后保存至少 10min 后开始测试；

c.记录不同温度下，传感器的中心波长值。

8.2 结果判定

结果判定依据：温度系数 $\leq 0.5\text{nm}/\text{℃}$ 。

8.3 测试数据记录表

表7 温度系数测试数据记录表

温度值 (℃)	中心波长 (nm)
60	
40	
20	
0	
-20	
-40	
-60	
-80	
-100	
-120	
-140	
-160	
-170	
温度系数 ($\mu\text{ε}/\text{nm}$)	
结果判定	

9 漂移测试

9.1 测试流程

a.在标准环境条件下，按图 2 所示连接，将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上且保证光纤应变传感器不受外力作用；

b.设置高低温循环箱温度为 20℃，温度到设置点后保存至少 10min 后开始测试；

- c.运行 4 小时，传感器静止不动，保存初始及 4 小时光纤应变传感器中心波长；
- d.计算保存数据与初始数据之差，取最大差值为常温环境的漂移数值；
- e.设置高低温循环箱温度为-170℃，温度到设置点后保存至少 10min 后开始测试；
- f.运行 4 小时，传感器静止不动，保存初始及 4 小时光纤应变传感器中心波长；
- g.计算保存数据与初始数据之差，取最大差值为极限工作温度环境的漂移数值。

9.2 结果判定

结果判定依据：漂移 $\leq 2\%F.S.$

9.3 测试数据记录表

表8 漂移试验记录表

温度点 (°C)	初始波长 (nm)	最大差值 (nm)	漂移 (F.S)

10 蠕变测试

10.1 测试流程

- a.在标准环境条件下，按图 2 所示连接，将光纤应变传感器固定在应力应变试验台上且保证光纤应变传感器不受外力作用；
- b.对光纤应变传感器进行拉伸，拉伸值为 1000 $\mu\epsilon$ ；
- c.设置高低温循环箱温度为 20℃，温度到设置点后保存至少 10min 后开始测试；
- d.运行 1 小时，传感器静止不动，保存初始及 1 小时光纤应变传感器中心波长；
- e.计算保存数据与初始数据之差，取最大差值为常温环境的蠕变数值；
- f.设置高低温循环箱温度为-170℃，温度到设置点后保存至少 10min 后开始测试；
- g.运行 1 小时，传感器静止不动，保存初始及 4 小时光纤应变传感器中心波长；
- h.计算保存数据与初始数据之差，取最大差值为极限工作温度环境的蠕变数值。

10.2 结果判定

结果判定依据：蠕变 $\leq 2\%F.S.$

10.3 测试数据记录表

表9 蠕变试验记录表

温度点 (°C)	初始波长 (nm)	最大差值 (nm)	蠕变 (F.S)