



风机监测 实验方案及进度

[摘要]

[该风机监测项目涵盖了多部位、多类型的测试需求，包括螺栓孔应力监测、智能螺栓应力监测、风机叶片应力监测、风机叶片裂缝监测。为保证测试进度和效果，制定了监测方案和计划，同时制定了模拟螺栓孔应力监测的对比试验，详细内容见正文]

让测量更简单

MAKE
MEASUREMENT
SIMPLE

深圳市简测科技有限公司

地址：深圳市南山区学府路1号

电话：0755-29235600

<http://www.jemetech.com/>

1 风机叶片监测

叶片应力监测采用光纤光栅应变传感器，同时各测点设置光纤光栅温度传感器进行温度补偿；光纤光栅应变传感器安装于叶片根部，应变片安装在挥舞和摆振方向，如图 1.1 所示。叶片根部贴片位置选择：

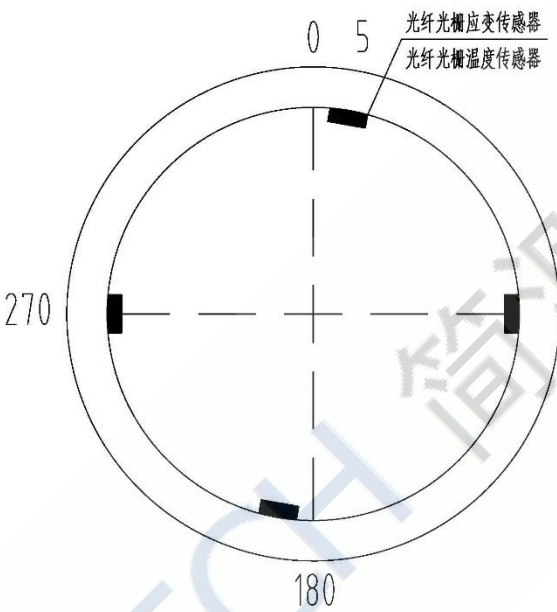


图 1.1 光纤光栅传感器布置示意图



图 1.2 叶片断面

构件应力监测需要利用大量的高性价比传感器，实现对主要构件应变实时监测。应力监测所采用的各种类型传感器的核心功能是获取各种准确、有效和可靠的结构信息。表 1 为主要应变传感器特性对比：

表 1.1 各种传感器特性

特性 \ 类型	钢弦式应变计	电阻应变计	光纤光栅应变计
传感器体积	大	小	小
蠕变	较小, 适宜长期测量	较大, 需提高制作技术、工艺解决	较小, 适宜长期测量
测量灵敏度	较高	较高	高
温度变化的影响	温度变化范围较大时需要修正	可以实现温度变化的自补偿	温度变化范围较大时需要修正
长导线影响	不影响测量结果	需进行长导线电阻影响的修正	不影响测量结果
信号传输距离	较长	短, 小于100米	长, 可达10公里
抗电磁干扰能力	差	差	好
对绝缘的要求	要求不高	要求高	无需绝缘
动态响应	差	好	好

充分考虑本项目监测结构在服役阶段的环境条件, 对于长期监测优先采用光纤光栅传感器; 该产品基于一种光纤光栅应变增/减灵敏度的封装机制, 采用独特封装工艺有效的消除了胶粘剂对传感器应变传递的影响; 通过调节封装工艺中的参数, 可以改变传感器的应变灵敏度系数; 同时兼有细径管保护式和夹持式的优点, 既可以直接埋入结构中也可以通过辅助构件构成夹持式传感器, 如图 1.3 所示:



图 1.3 光纤光栅应变传感器

光纤光栅传感器具有其独特的优点：

（1）传感器体积小、重量轻、外形可变，适合埋入大型结构中，可测量结构内部的应力、应变及结构损伤等，稳定性好，可重复使用；

（2）与光纤之间存在天然的兼容性，易与光纤连接，光谱特性好，低损耗、可靠性高；

（3）具有绝缘性，不影响待测结构，同时具有抗腐蚀、抗电磁干扰的特点，适合在恶劣环境中工作；

（4）一根光纤可以串联多个光纤光栅传感器，由其构成传感阵列，与波分复用和时分复用系统相结合，实现分布式测量；

（5）传感器灵敏度高、分辨率大。

其主要参数指标如表 2 所示：

表 2 光纤光栅应变传感器主要技术指标

光纤光栅应变传感器	
量程	$\pm 2000\mu\varepsilon$
分辨率	$1\mu\varepsilon$ （可定制）
波长范围	1510~1590nm
工作温度范围	-30~120
重量	4.1克
规格尺寸	外径4mm，测量标距30mm（可定制）
尾纤规格	聚合物软管或铠装管（ $\Phi 3\text{mm}$ ）
连接方式	熔接或FC/APC连接头
安装方式	焊接、胶粘接、直接埋入

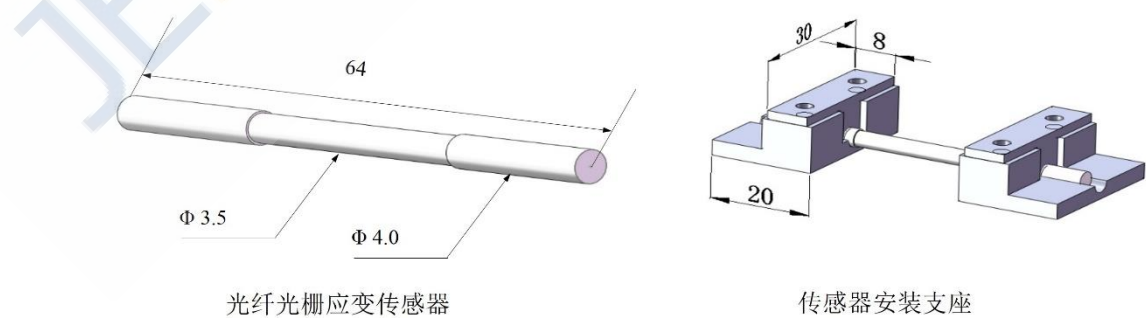


图 1.4 光纤光栅传感器封装形式及传感器安装支座

光纤光栅温度传感器按封装方式分为增敏型与无增敏性封装结构，按外形可分为管式和方形两种。传感器采用了独特的封装技术，不仅可以有效的提高了传感器的温度灵敏度，使传感器能自由的感应结构对象的温度变化，而且消除了外界应变影响，使传感器免受外界应力的冲击。

表 3 光纤光栅温度传感器技术指标

产品参数		
传感器	增强型光纤光栅温度传感器	无增敏型光纤光栅温度传感器
量程	-30℃~+120℃	-30℃~+120℃
分辨率	0.05℃	0.1℃
波长范围	1510nm~1590nm	1510nm~1590nm
规格尺寸	5mm 外径	3.6mm 外径
安装方式	表面粘接或埋入被测材料中	表面粘接或埋入被测材料中
应用范围	高精度温度测量	低精度温度测量及光纤光栅传感器温度补偿

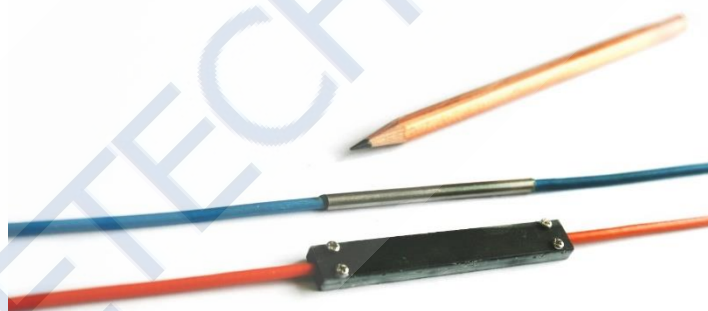


图 1.5 光纤光栅温度传感器

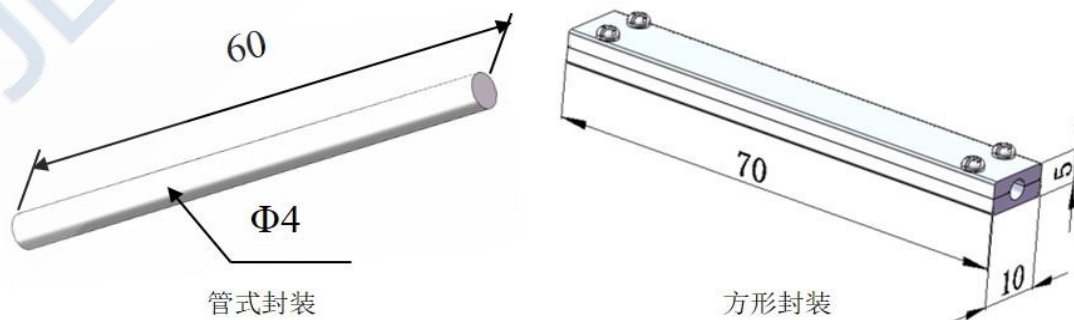


图 1.6 光纤光栅温度传感器封装形式

目前，为保证测试精度，建议先测试风机叶片材料特性，取得叶片材料的线膨胀系数，以消除线膨胀引起的误差。现场测试拟采用 12 个低温敏型光纤光栅应变传感器、12 个光纤光栅温度传感器进行测试。

2 变桨轴承测量

2.1 现场测试

拆除下图中一个螺栓，在螺栓孔内壁粘贴微型光纤光栅传感器，环向剪切应变采用裸光纤光栅进行测试。

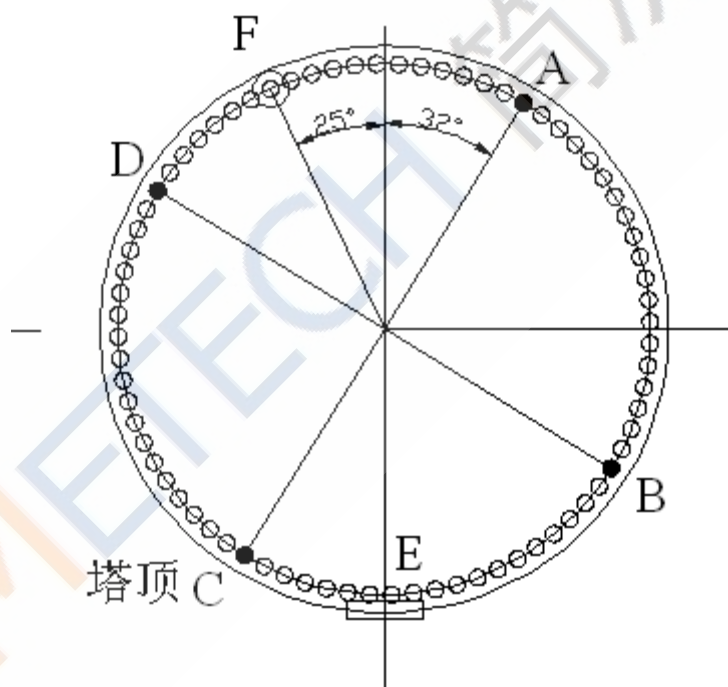


图 2.1 螺栓孔布置图



图 2.2 螺栓孔应力测试传感器安装示意

微型光纤光栅应变传感器兼有细径管保护式和夹持式的优点，直径最小可达 1mm，既可以埋入结构中也可以通过辅助构件安装于结构表面。该传感器基于应变增敏/减敏封装机制，通过调节封装工艺中的参数，可以灵活改变传感器的应变灵敏度系数。是目前国内尺寸最小的光纤光栅应变传感器。



图 2.3 光纤光栅微型应变传感器

参数指标如下所示：

微型光纤光栅应变传感器	
量程	$\pm 1500 \mu\epsilon$ (可定制)
分辨率	$0.5 \mu\epsilon$ (可定制)
波长范围	1510~1590nm
工作温度范围	-30~120℃
重量	0.48 克

规格尺寸	外径 1.5mm，测量标距 10mm (可定制)
尾纤	聚合物软管($\Phi 0.9\text{mm}$ 和 $\Phi 2\text{mm}$ 可选)
连接方式	熔接或 FC/APC 连接头
安装方式	焊接、胶粘接、直接埋入

工艺尺寸如图 2.4 所示：

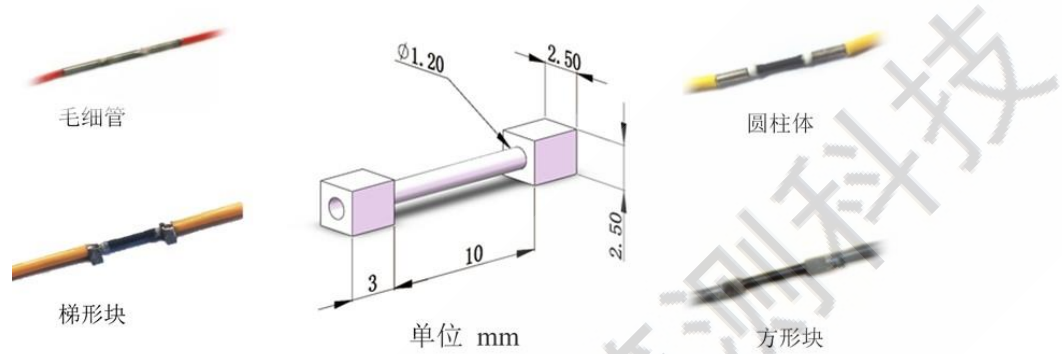


图 2.4 光纤光栅微型应变传感器工艺尺寸

各螺栓孔内设置特殊夹持装置，如图 2.5 所示：

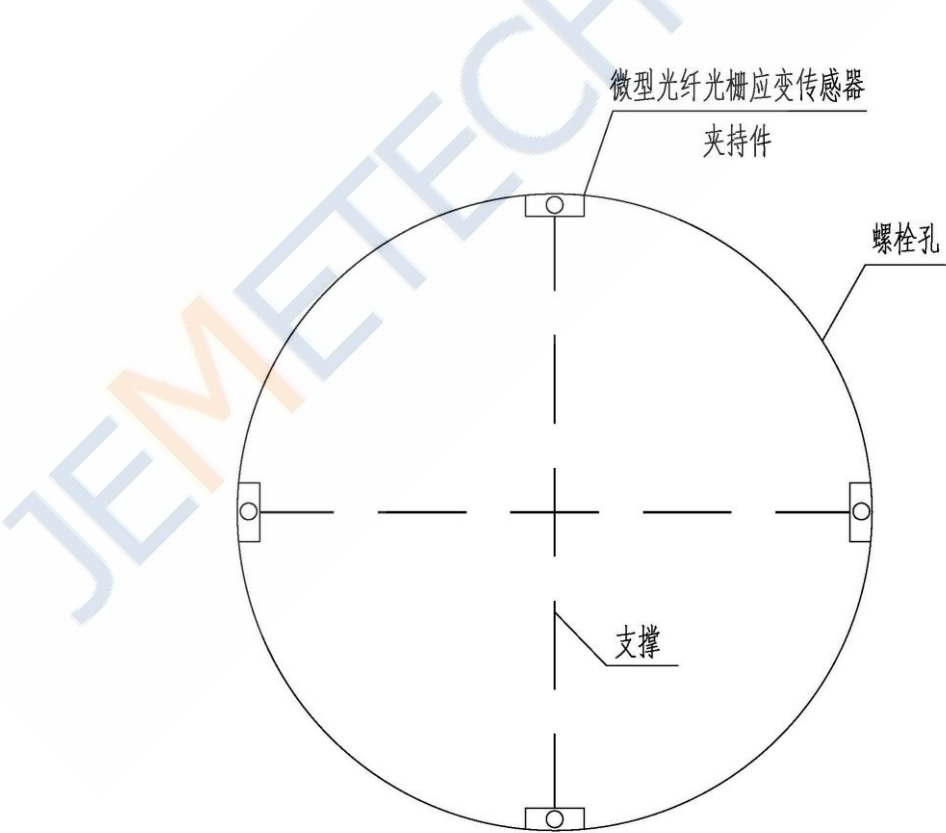


图 2.5 螺栓孔传感器布置

2.2 模拟测试

为模拟螺栓孔的应力监测效果，设计了一种测试件，如图 2.6 所示。两端为加载件，中间为测试件，测试件外径 30mm，内径 24mm，采用 Q235 普通钢材。加载件通过销钉与试验机相连，测试件通过两端外螺纹与加载件相连接，构成一组测试构件。

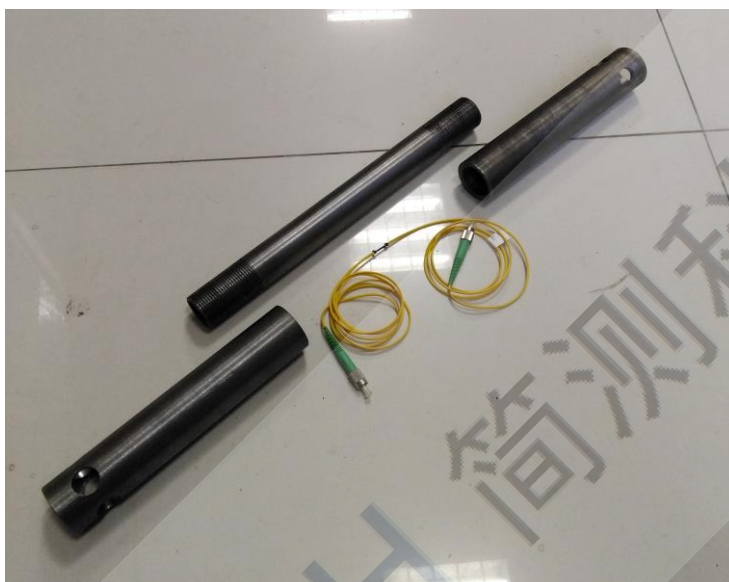


图 2.6 加载件、测试件、微型光纤光栅应变传感器



图 2.7 组合件、微型光纤光栅应变传感器

根据实验设计思路，将微型光纤光栅应变传感器安装于测试件内壁内螺纹（已改为光滑内壁）的螺纹间隙内，如图 2.8 所示：



图 2.8 测试件内表面

目前，如需将微型微型光纤光栅应变传感器安装于螺纹间隙内，需要单独设计传感器支座，切向剪切应变同样采用裸光纤光栅进行测试。目前传感器支座正在加工制作过程中，待制作完成后即可开展下一步实验计划。

3 裂缝监测

根据需求，在 500mm 宽度范围内，拟采用 5 只光纤光栅裂缝传感器进行测试，能够满足在指定范围内发现并确定裂缝产生的部位。现场传感器安装如图 3.1 所示。



图 3.1 裂缝传感器安装示意图

4 螺栓孔应力测试概况

为模拟螺栓孔的应力监测效果，设计了一种测试件，如图 4.1 所示。两端为加载件，中间为测试件，测试件外径 30mm，内径 24mm，采用 Q235 普通钢材。加载件通过销钉与试验机相连，测试件通过两端外螺纹与加载件相连接，构成一组测试构件。

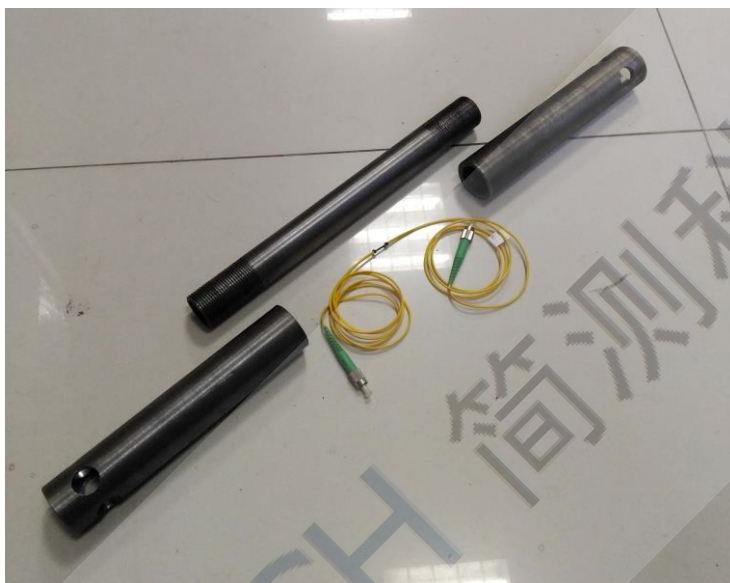


图 4.1 加载件、测试件、微型光纤光栅应变传感器



图 4.2 组合件、微型光纤光栅应变传感器

根据实验设计思路，将微型光纤光栅应变传感器安装于测试件内壁内螺纹（已改为光滑内壁）的螺纹间隙内，安装方式采用粘接方式（502 胶粘接），传感器中心位于管

端部向内延伸 3.75cm 处，传感器两端尾纤由销钉孔穿出。加载件与管采用螺纹方式连接，既能保证加载均匀，而且不破坏管壁，尾纤可以从加载件孔穿出，接线方便。采用如图 4.3 所示：

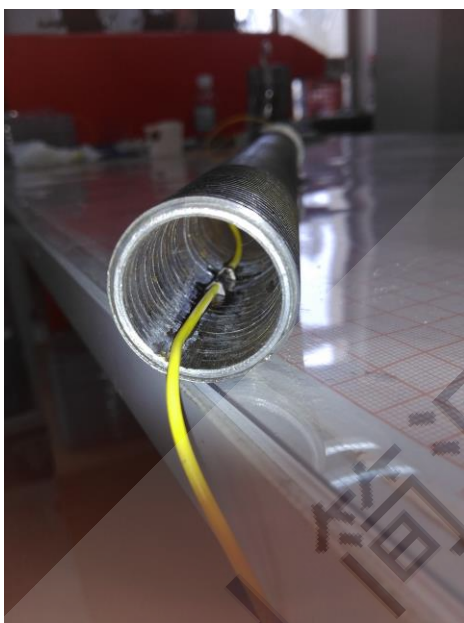


图 4.3 测试件内表面

4.1 实验结果

采用拉伸实验机进行拉伸测试，采用 0~20KN 等速率加载方案，均匀拉伸；管外径 30mm，内径 24mm，选用 Q235 普通钢材；采用减敏微型光纤光栅应变传感器，中心波长 1540nm，应变系数 $0.7\text{pm}/\mu\epsilon$ ；拉伸试验机如图 4.4 所示，采用 JEME-iFBG-S15 进行数据采集；



图 4.4 拉伸试验机

测试共分为三组，各组螺栓孔拉伸的应力时程如下图所示，

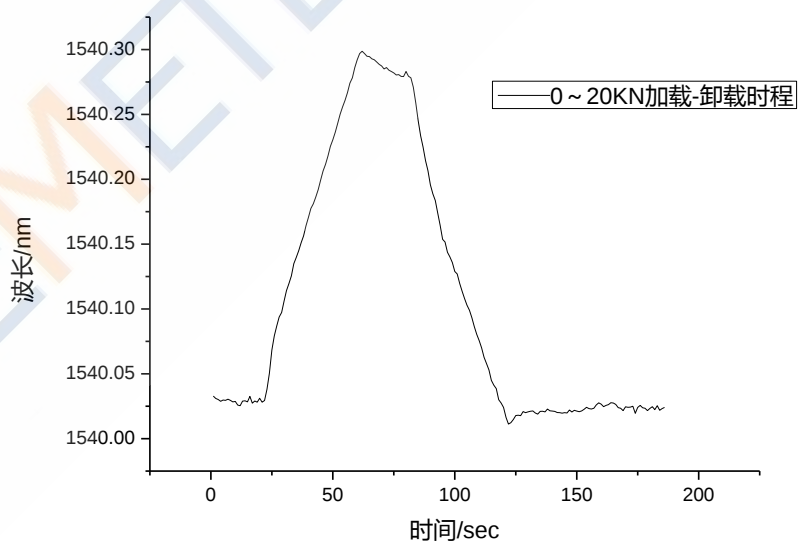


图 4.5 应力测试第一组（0~20KN 加载-卸载时程）

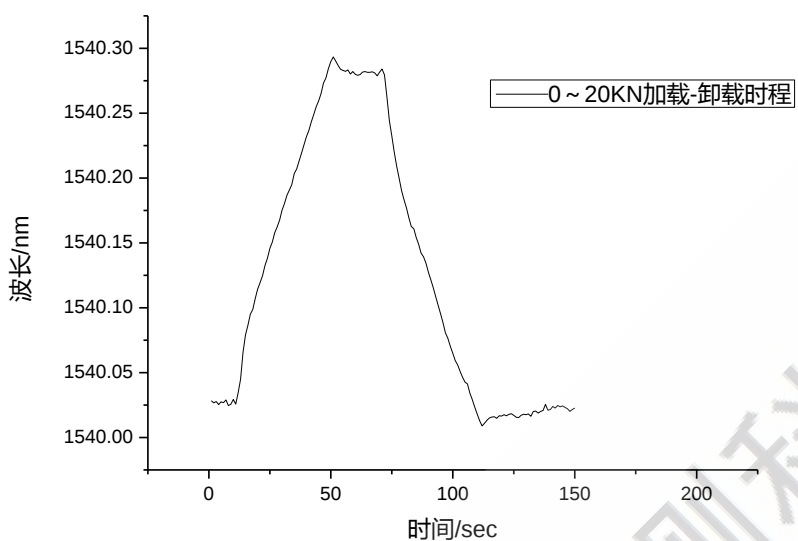


图 4.6 应力测试第二组（0~20KN 加载-卸载时程）

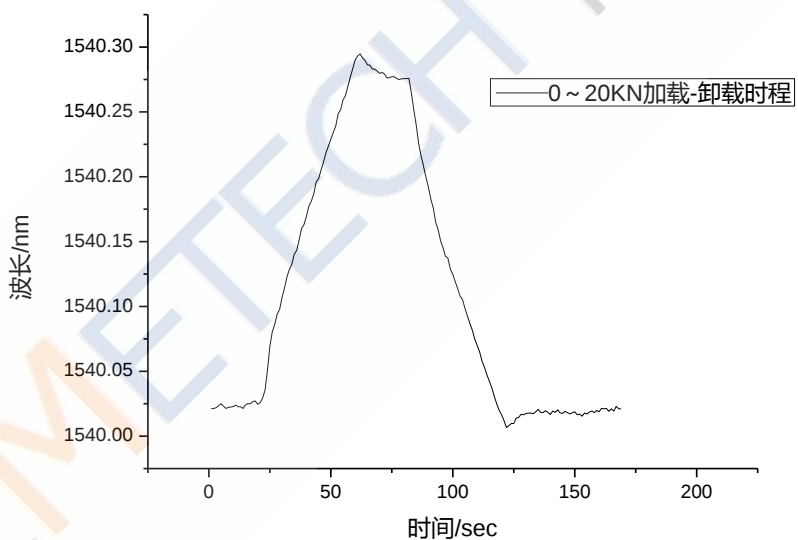


图 4.7 应力测试第三组（0~20KN 加载-卸载时程）

从三组时程曲线可以看出，传感器均回到了零点，且线性度较好。三组实验传感器波长变化分别为 1540.029nm~1540.299nm，1540.024nm~1540.293nm，1540.021nm~1540.295nm，对应分别变化 $386\ \mu\epsilon$ 、 $384\ \mu\epsilon$ 、 $391\ \mu\epsilon$ ，与理论计算值 $374\ \mu\epsilon$ 基本一致。

4.2 结论

通过模拟螺栓孔应力测试实验可以看出，微型光纤光栅应变传感器精度高，线性度好，能够准确测试螺栓孔的应力变化；采用基于微型光纤光栅应变传感器的螺栓孔应力测试方法能够满足现场测试、以及实际监测项目的需求，是一种理想的测试方法。

深圳市简测科技有限公司

JEMETECH CO.,LTD.

JEMETECH

简测科技

JEMETECH 简测科技