

光纤光栅传感技术在单立柱海洋石油平台健康监测应用



深圳市简测科技有限公司

二〇一四年九月

项目背景

CB271 单井平台由单立柱导管架、水下桩、上部平台组成。单立柱导管架采用单立柱和三腿水下导管架形式。导管架的三个面均为直立，水下导管架水平面为等边三角形，三个腿位于三角形的顶点，单立柱位于三角形底边的中点。单立柱平台与简化实体模型分别如图 8.1 和图 8.2 所示。



图 8.1 单立柱平台

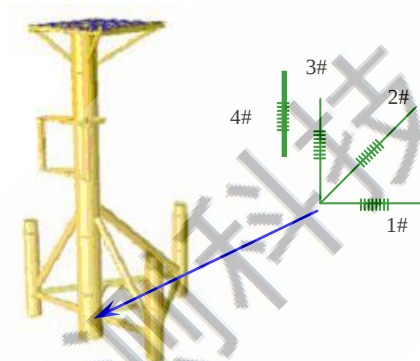


图 8.2 单立柱平台简化实体模型

传感器布置图

我们在单立柱海洋石油平台主立柱底部以应变花的方式粘贴了 3 个光纤光栅传感器，如图 8.2 所示，用于监测主立柱的应变变化情况；并在附近安装了 1 个光纤光栅温度传感器，用于补偿温度影响。

安装流程

裸光纤光栅的外径约为 125 微米，主要成分是 SiO_2 ，比较脆弱，尤其是抗剪性能很差。为了避免光纤光栅在施工过程中的冲击，我们研究了光纤光栅的布设工艺措施，具体过程如下：

1. **打磨**。为了保证光纤光栅与钢材的充分接触，避免应变传递导致的测试误差，首先使用打磨机对钢结构表面进行抛光，去除油漆层，然后用砂纸打磨，使钢结构表面平整光滑。为了防止打磨的屑末、油污等污染物质的影响，用脱脂棉球蘸丙酮将打磨处擦洗干净。

2. **传感器粘贴**。我们利用单组分的 502 胶粘帖光纤光栅与钢结构表面。首先使用两根细胶带粘帖在传感器安装位置，中间留出大约 3mm 的宽度的细槽，目的是为了传感器安装的准直；然后在这个细槽中等间距滴 2-3 滴 502 胶；最后将光纤光栅置于细槽中，同时给予一定的预应力，此时 502 胶液会自动沿着光纤轴向流动充满整个光栅区域。待胶固化后即可松手。

3. **传感器保护**。由于海洋环境比较恶劣，所以传感器的保护非常重要。如何很好的保护光纤光栅免受施工过程导致的冲击损坏以及海洋环境的腐蚀影响是光纤光栅成功应用于海洋工程结构的关键。我们使用环氧树脂涂敷于光纤光栅的表面，环氧树脂层不仅能够起到保护光纤光栅免受冲击的影响，而且能够达到使传感器防潮防腐的目的。

4. **光纤与接头保护**。为了避免传输光纤受到施工过程的损坏，我们使用环氧树脂胶将传输光缆固定在立柱表面；并在立柱一侧焊接了一根直径 8cm 的钢管，光缆通过钢管直通平台顶部。

采用上述的布设工艺，在安装过程结束后，及时检查光纤光栅的存活情况，光纤光栅传感器全部存活。10 个月后，平台竣工，我们对该平台进行了健康检测，光纤光栅传感器信号依旧良好，由此说明该工艺过程很适于光纤光栅的安装与保护。

单立柱海洋石油平台的健康检测

1. 船撞击对平台主立柱的影响

运输船对平台的撞击是影响海洋石油平台结构健康和设施安全性的重要因素。因此，实时的监测船撞击平台后平台主立柱的应变变化有着很重要的意义。在对平台主立柱的健康检测中，我们成功监测到了运输艇撞击平台时，平台主立柱的应变变化情况。



图 8.3 平台及其模型和传感器位置

光纤光栅传感器成功的监测到了一艘约一百吨的交通艇撞击平台时主立柱的应变变化过程。图 8.3 给出了撞击点的位置。表 8.1 为安装在不同方向上光纤光栅传感器所监测到的最大应变值。因为这些传感器安装的位置为撞击点的背部，所以所监测到的最大应变皆为负应变。由于船撞击的位置主要受力方向为垂直方向，所以处于垂直方向的 3#传感器所监测到的最大应变要大于水平方向的 1#传感器。在监测过程中，如 4#温度传感器所示，温度变化很小，可

以忽略不计。

表 8.1 传感器规格

传感器序号	测量量	位置	波长(nm)	应变极值(με)	
1#	应变	0°	1530nm	6.7	-19.1
2#	应变	45°	1540nm	9.1	-25.8
3#	应变	90°	1550nm	9.2	-26.7
4#	温度		1555nm		

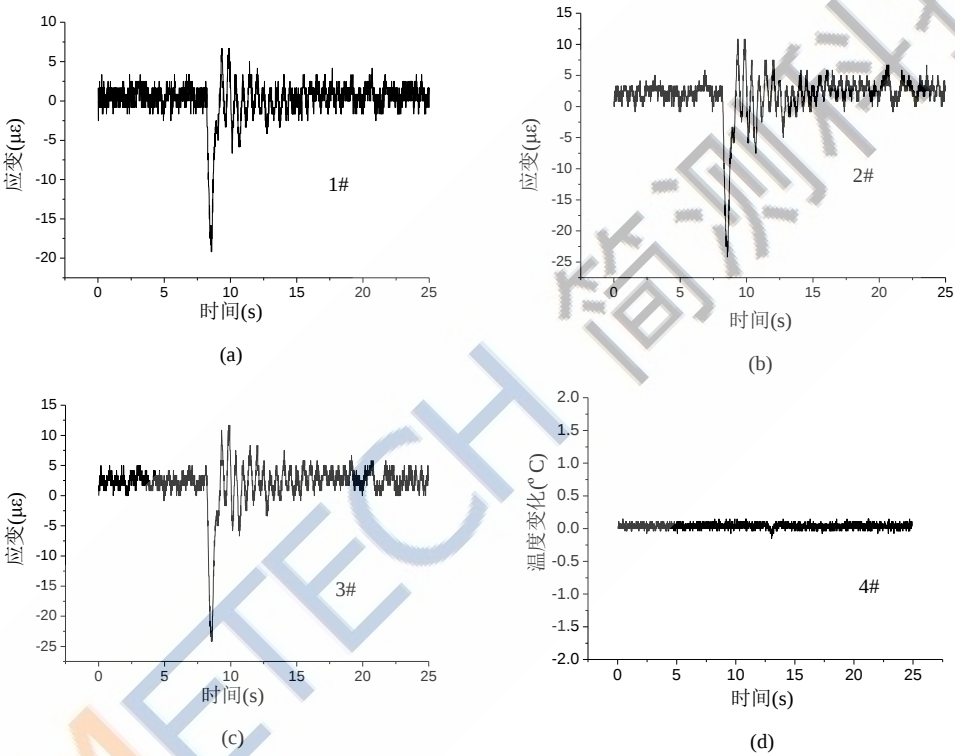


图 8.4 埋入式 FBG 传感器测得的在船撞击下的应变变化过程

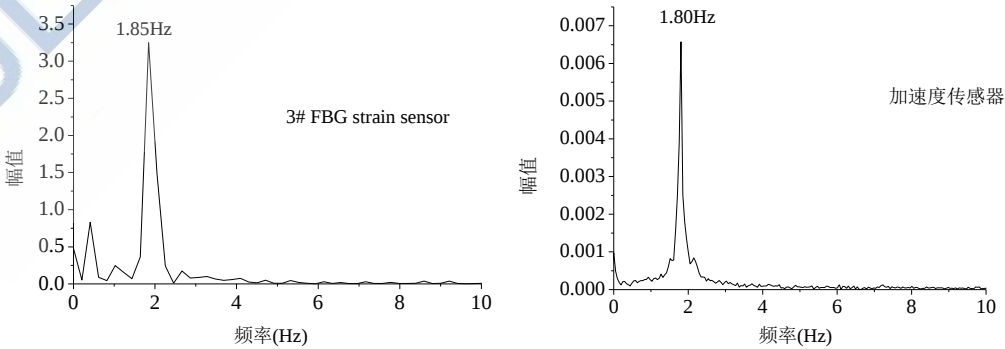


图 8.5 3#光纤光栅传感器在船撞击作用下的功率谱图

图 8.5 为 3#光纤光栅传感器在船撞击作用下的功率谱图，所测得的平台基频为 1.85Hz，与加速度传感器所测得的值(1.8 Hz)一致。

3 个光纤光栅传感器的布置方向分别为 $\alpha_1=0^\circ$ ， $\alpha_2=45^\circ$ ， $\alpha_3=90^\circ$ 。通过计算可以得到 x 轴、y 轴的应变为 $\varepsilon_x=-19.1\mu\varepsilon$ ， $\varepsilon_y=-26.7\mu\varepsilon$ ，剪应变为 $\gamma_{xy}=-5.8\mu\varepsilon$ 。最大的主应变为 $-27.7\mu\varepsilon$ ，方向为 251.3° 。

2. 海浪荷载

海浪荷载是影响海洋石油平台的另一大因素。我们利用光纤光栅传感器成功监测到了海浪荷载作用于平台主立柱时的应变变化趋势。表 8.2 为光纤光栅传感器监测到的最大应变。3#传感器测量到的功率谱图如图 8.7 所示。从图中可以看出，存在有两个低频的信号，分别为 0.32Hz 和 0.54Hz，很显然它们都是由海浪引起的。

表 8.2 光纤光栅传感器最大应变

传感器序号	测量量	位置	波长(nm)	应变极值($\mu\varepsilon$)	
1#	应变	0°	1530nm	6.3	-6.9
2#	应变	45°	1540nm	7.7	-7.9
3#	应变	90°	1550nm	7.5	-6.9
4#	温度		1555nm		

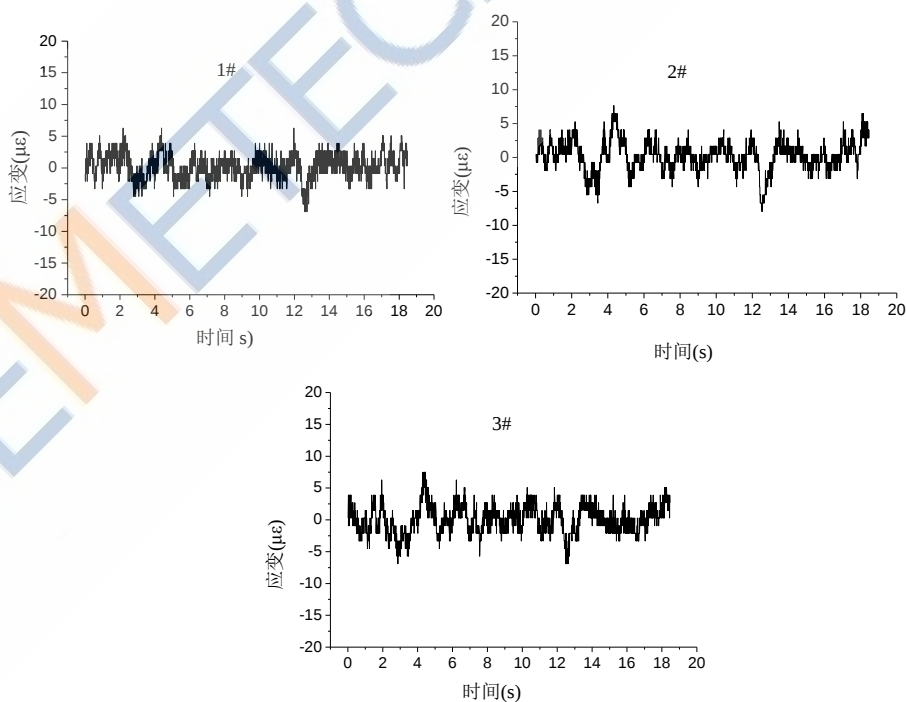


图 8.6 船撞击下的应变变化过程

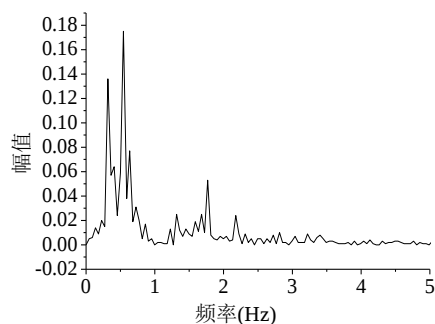


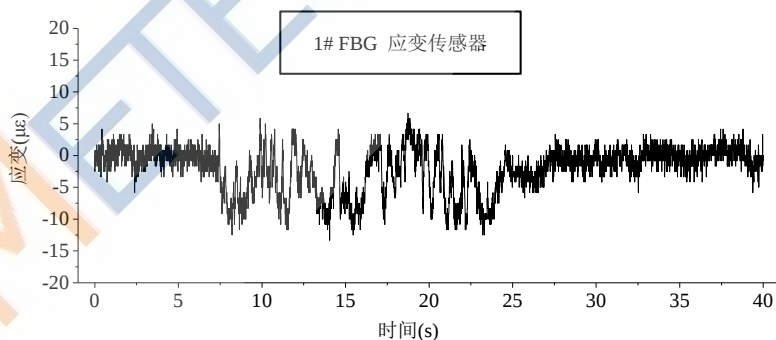
图 8.7 3#FBG 传感器的功率谱密度函数

3. 异常海流荷载

在平台的应变监测过程中，传感器还监测到了异常海流的冲击，如图 8.8 所示大约持续了 20 秒左右。8.3 为 3 个光纤光栅传感器监测到的最大应变以及温度传感器监测到的海水温度变化情况。从应变信息可以看出，这股海流的冲击强度明显大于一般的海浪影响。

8.3 光纤光栅传感器最大应变

传感器序号	测量量	位置	波长(nm)	应变极值($\mu\epsilon$)	
1#	应变	0°	1530nm	6.67	-13.3
2#	应变	45°	1540nm	10.83	-10
3#	应变	90°	1550nm	15.83	-7.5
4#	温度		1555nm	0.2°C	-0.2°C



(a)

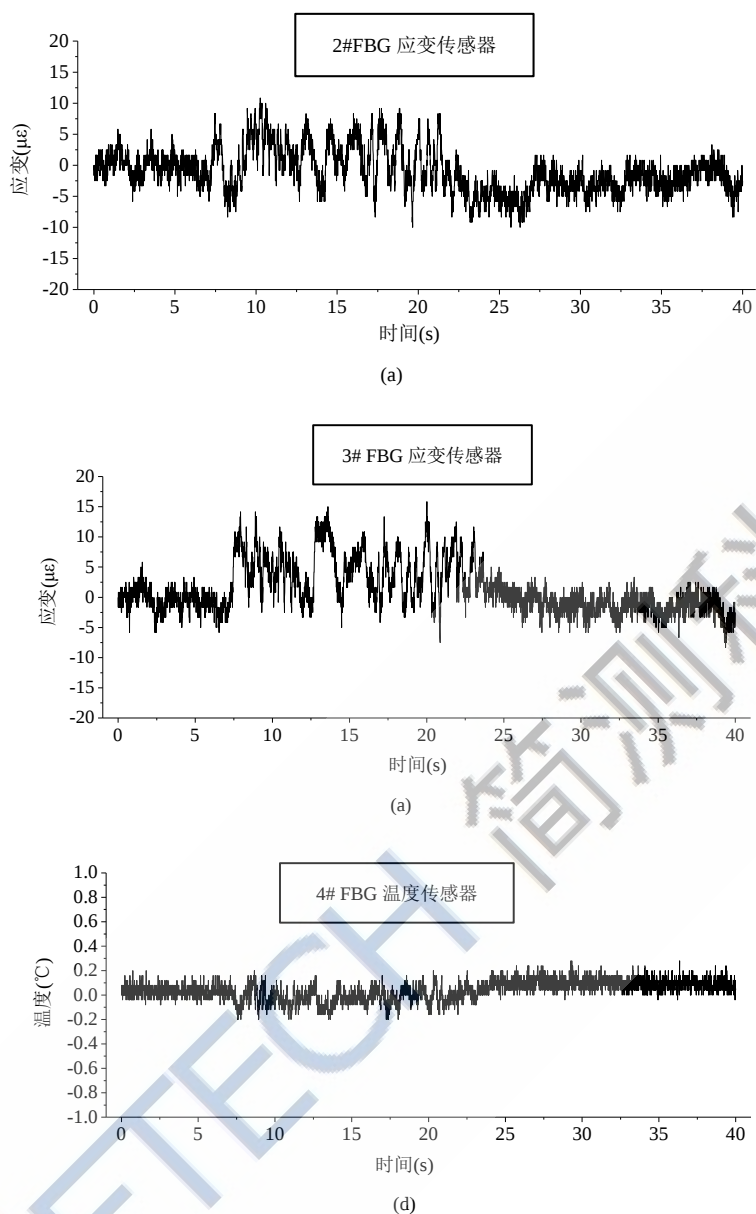


图 8.8 海浪作用下的 20 秒异常过程

小结

我们将裸光纤光栅以及自行开发的光纤光栅温度传感器应用于单立柱海洋石油平台的健康监测中，探索了光纤光栅传感器在海洋石油平台上的安装工艺；并在平台竣工一年后对该平台进行了实时的健康监测。

光纤光栅传感器灵敏地监测到了船撞击甚至海浪冲击平台主立柱底部的应变变化。光纤光栅传感器所测到的基频值与加速度传感器的结果一致；根据所布置的光纤光栅应变花，我们可以精确得出船撞击的主方向。数据结果表明，光纤光栅具有灵敏度高、抗腐蚀能力强、耐久性好的优点，非常适合于海洋工程结构的长期健康监测。

JEMETECH 简测科技