

海洋船只模型实验



深圳市简测科技有限公司

二〇一四年九月

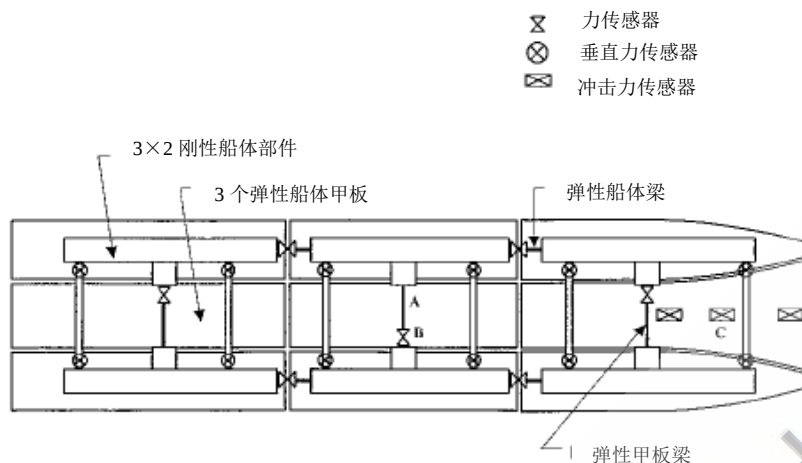


图 7.1 双体船模型结构示意图。A 为安装光纤光栅传感器的位置，用于测量弯矩；B 安装了电阻应变片，用于测量结果比较；C 点为光纤光栅冲击力测量传感器安装的位置。

试验背景及传感器布置

将光纤光栅传感器应用于双体船模型的实验。船原型为 82m 长。模型比例为 1: 20，尺寸为 4.1m×1.02m×0.21m，模型重量为 217kg。该模型设计为缩小比例的弹性模型，用弹簧链接刚性元件构成，如图 7.1 所示。双体船模型的每一部分由三个独立单元组成，使用轴向弹簧链接；模型的两部分通过三个横向弹簧连接。双体船模型主要由有机材料和聚酯玻璃纤维材料制成。为了增加船模型的刚度，每个独立单元安装了铝骨架。

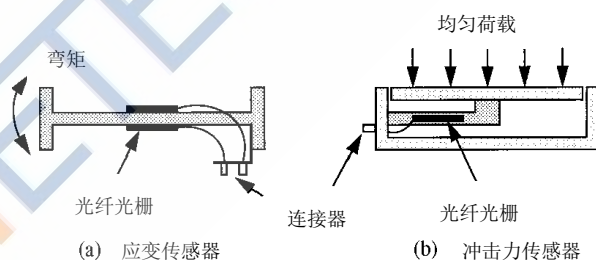


图 7.2 试验所用的光纤光栅传感器的结构示意图：(a)弯矩传感器，(b)冲击力传感器

光纤光栅传感器主要用于测量双体船模型中央的弯矩以及甲板的冲击荷载。如图 7.2 所示，两光纤光栅传感器安装于船模型中央位置不锈钢梁的顶部与底部，如图 7.1 中的 A 点，梁长 18cm，宽 2.4cm，厚 0.85cm。为了验证光纤光栅传感器的性能，在模型的每个横向弹簧上安装了应变片式的力传感器，如图 7.1 中的 B 点。

在高速海船的结构设计中，需要重点考虑吃水部位的抗冲击荷载能力。分别在模型中前甲板的布置了三个传感器用于测量冲击荷载。在图 7.1 的 C 点布置了一个光纤光栅冲击力测量传

感器。如图 7.2(b)所示，光纤光栅粘接在梁上，梁紧固于荷载片的中央位置，整个装置封装于中空的铝盒中。整个传感器嵌入模型的甲板中，将荷载片置于迎水面。传感器通过安装在铝盒上的连接器与传输光纤串接。

试验内容及测量结果

双体船模型的水试验是海洋试验池中进行的。试验池的尺寸为 80m×50m，深度为 10m。试验池装备有高速驱动系统，可使自由模型产生 0 到 6m/s 的速度。模型试验包括无水状态下的标定试验和海洋试验池中的有水试验。后者试验中，对船模型按照不同的角度(0°、45°和 90°)分别施加以规则波及随机波。

1. 弯矩测量

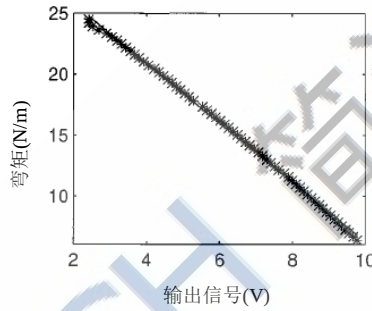


图 7.3 光纤光栅弯矩传感器的标定结果图

在模型实验之前，对光纤光栅弯矩传感器进行了标定。假定光栅的长度远小于梁的长度，可得

$$M = -\left(mga + \frac{1}{2}\rho gbha^2\right) \quad (7.1)$$

其中， m 为加载的质量， g 为重力加速度， a 为光纤光栅中心位置与加载点的距离。式(7.1)中的第二项为梁自重对弯矩的影响， ρ 为钢密度， b 和 h 分别为梁的宽度和厚度。图 7.3 为传感器的标定结果图。从图中可以看出，传感器的线性度很好，弯矩系数为 $-2.41 \pm 0.03 \text{ Nm/V}$ 。

在无水的情况下，对双体船模型的自振频率、振动形状和结构阻尼进行了测试。模型含有 6 个连接各个单元的弹簧，但这些弹簧的自振频率相对于模型的自振频率非常小，可忽略。对于模型来说，不同方向的激振可得到不同的振动模式。图 7.4 为双体船的一边垂直冲击时各个传感器的频域响应图。(a)和(b)为顶部和底部的光纤光栅传感器，(c)为临近的应变片。光纤光栅传感器的一阶频率均为 9Hz，与应变片一致，但二阶频率 13Hz 相对应变片比较弱。这是由于

传感器的安装位置造成的，后者自由度较大，可得到较强的响应。

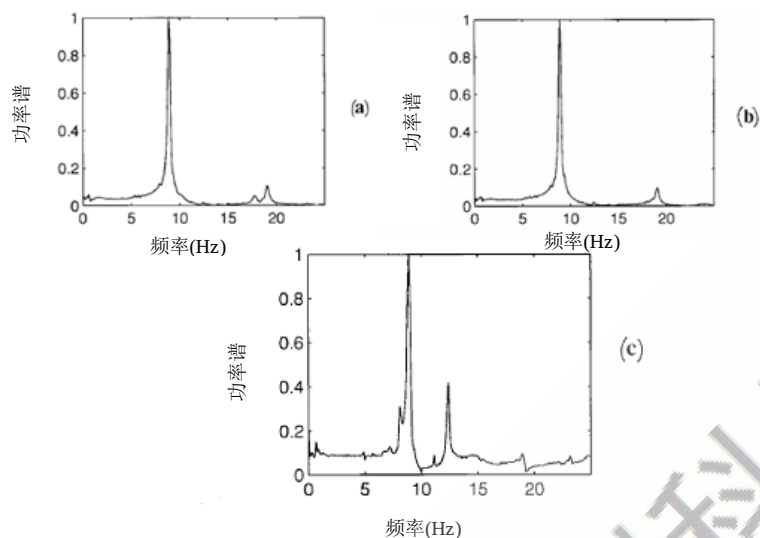


图 7.4 冲击荷载作用下各个位置光纤光栅弯矩传感器的频域图：(a)顶部，(b)底部，(c)应变片

在海洋实验池的试验中，船模型双体之间的弯矩以海水 90°冲击时最大。主要测量了无动力船模型在各种海波作用下的响应。规则波的周期 T 在 0.7~2s 内，水波高度 $H=2\sim 20\text{cm}$ 。数据采样率均为 100Hz。图 7.5 为水波周期 $T=1.6\text{s}$ 、高度 $H=3\text{cm}$ 时，梁顶部的光纤光栅弯矩传感器和邻近应变片的时程响应。传感器的响应与输入的海波一致。

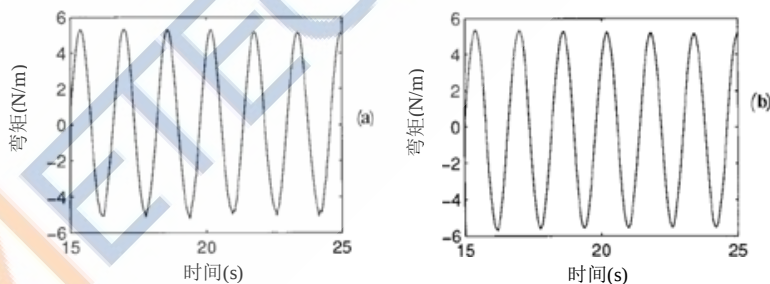


图 7.5 水波周期 $T=1.6\text{s}$ 、高度 $H=3\text{cm}$ 时各个传感器所测得弯矩时程图：(a) 光纤光栅 (b) 电阻应变片

为了建立海波荷载与模型弯矩之间的关系，引入了传递函数。传递函数定义为所测弯矩与海波高度的比值，即 M_A/ζ_A ， ζ_A 为 $H/2$ ， M_A 为弯矩。图 7.6 为光纤光栅传感器和应变片所测得弯矩的传递函数值与输入海波周期的关系图。随着输入海波周期的增加，两种传感器所得传递函数均具有相同的变化趋势。在海波周期为 1.3-1.4s 时，响应最大。

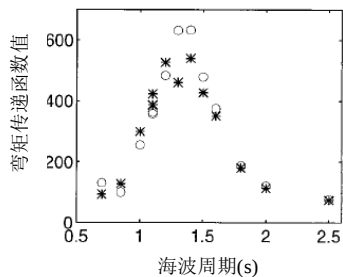


图 7.6 弯矩的传递函数值与输入海波周期的关系图：*为光纤光栅，○为电阻应变片

2. 甲板冲击荷载测量

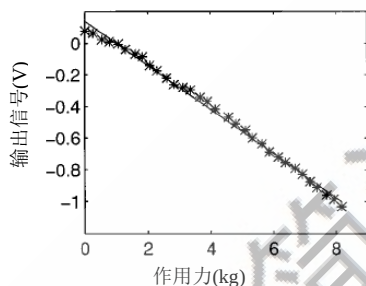


图 7.7 光纤光栅冲击力传感器的标定曲线

通过施加已知力对光纤光栅冲击力测量传感器进行标定。图 7.7 为标定结果。从图中可以看出，传感器的线性度很好，荷载力测量系数为 -71.79N/V ，非线性误差在 $\pm 3\%$ 内。

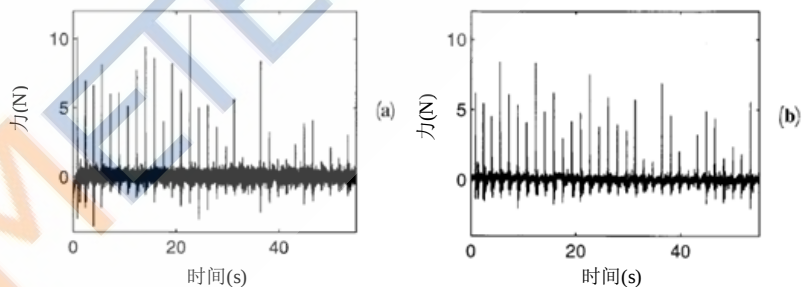


图 7.8 海波周期为 1.5s，波高 20cm 冲击力传感器测量值时程图：(a)光纤光栅；(b)电阻应变片

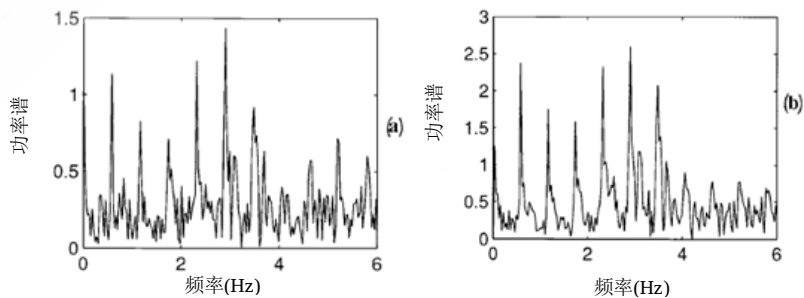


图 7.9 所测冲击荷载的频谱图：(a)光纤光栅；(b)电阻应变片

沿着船模型轴向的海波荷载对光纤光栅冲击力传感器的作用最大。输入的海波的周期和高度与上溯实验相同。数据采样率为 1000Hz。图 7.8 为海波周期为 1.5s，波高 20cm 下，光纤光栅力传感器和传统应变式力传感器的时程图。当波峰对模型甲板冲击表现为图 7.8 中的尖峰。可以看出，两种传感器的响应是一致的，峰值略有差别，这是由传感器安装位置不同造成的。图 7.9 是图 7.8 所示传感器时程相对应的频率谱。尖峰为输入波的多级频率，其中最大的冲击波为周期 1.5s、波高 20cm。