

FBG 应变传感器在机翼静态加载试验应变检测中的工程应用案例



深圳市简测科技有限公司

二〇一四年九月

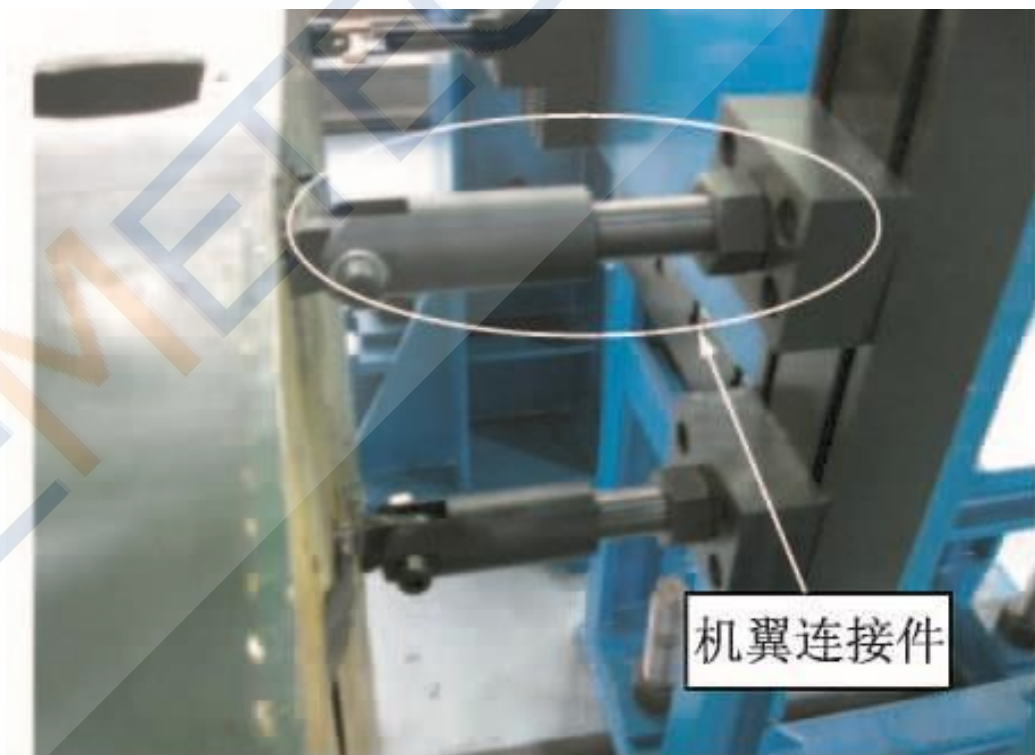
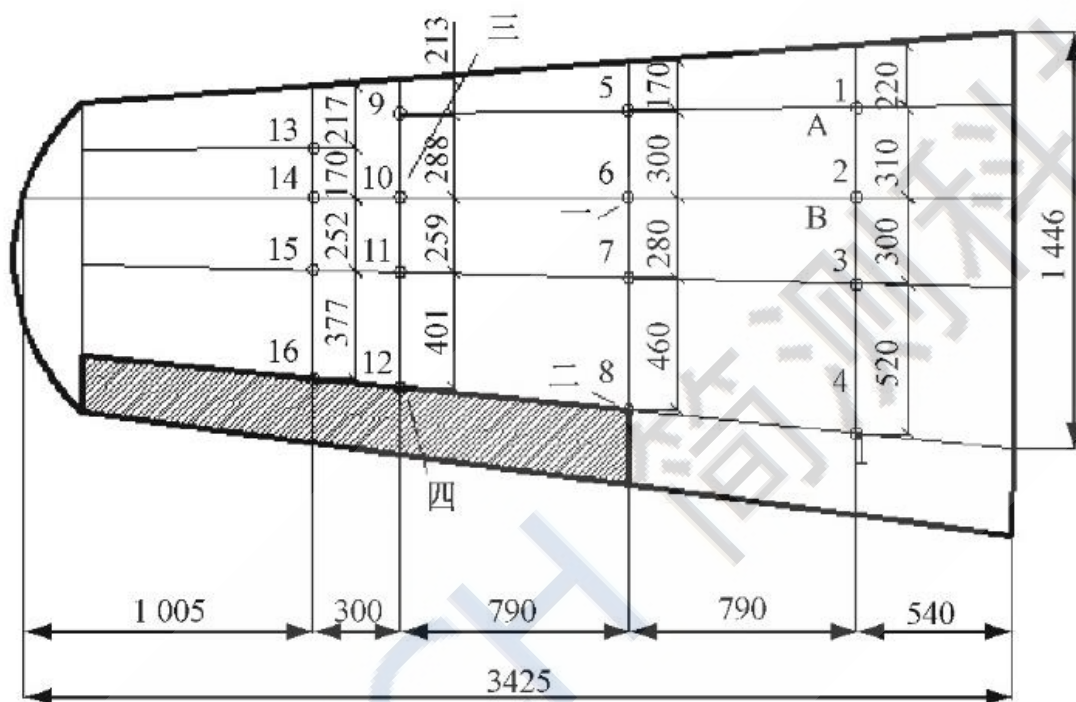
1、 试验准备

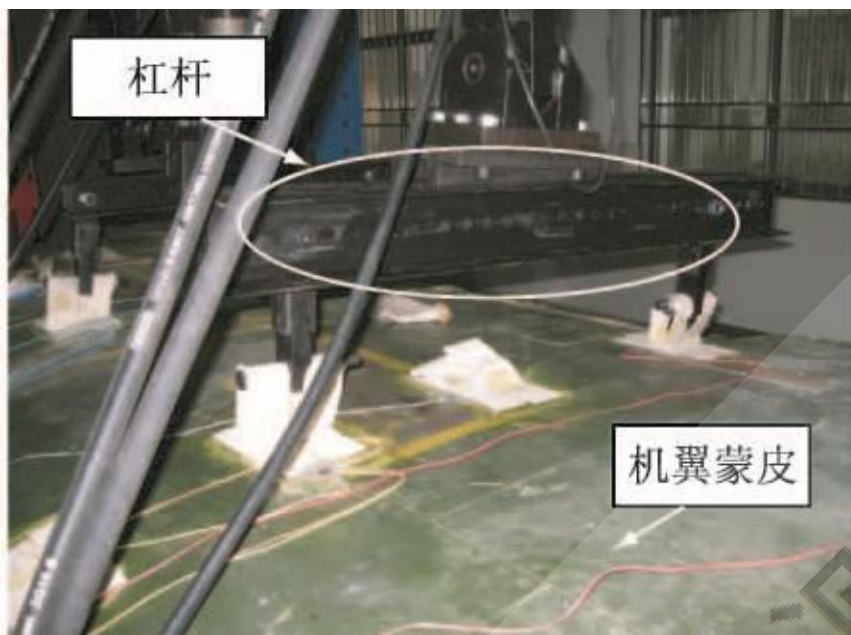


机翼作为飞机起飞过程中主要的受力结构，其内部的应力分布情况的测定对于飞机的结构设计至关重要。此次试验测定的机翼近似梯形，机翼长为 3.425m，机翼根部宽 1.446m。按照机翼沿横向与纵向将机翼蒙皮划分出 16 个测试点，具体机翼蒙皮的几何尺寸和各测点的位置见图 5，图中阴影部分为副翼，并不与机翼主体处在同一整体中。因此，试验中该部分并不受到加载的影响，也不作为应变测量等的考虑范围内。机翼采用铝合金材料，弹性模量 73GPa，泊松比 0.33。本次机翼静态加载试验将机翼按照悬臂机构进行荷载加载与应变测量。如图 6 所示，在机翼根部位置的上下表面处，分别使用螺栓将其与工作平台连接固定，以保证加载时机翼完全处于悬臂状态，从而模拟机翼在实际使用过程中受到升力时的工作状态与受力、变形情况。

在测点 6、8、10、12 附近分别布置加载点一、二、三和四（见图 5），机翼的静态加载采用两根作动筒分级进行，以获取数据研究应变情况。2 号筒连接机翼加载点一与加载点二；3 号筒连接机翼加载点三与加载点四。分别使用一级杠杆将沿横向的两个加载点与一根作动筒相连。杠杆采用 A3 钢，在杠杆中打孔以用来连接连杆。两处杠杆的自重分别为 220 N 与 280 N。每根连杆下再套住一根

长 80 mm 的铝管。铝管穿过已经与机翼表面粘牢的帆布拉环（见图 7）。试验中，通过作动筒提升拉动杠杆，并根据杠杆力臂长度来分配不同荷载给各加载点，以此实现四个加载点的同时加载。





在机翼蒙皮的 16 个测点处各黏贴应变花，其中沿机翼纵向设为 0° ，沿横向设为 90° 。所有应变片桥路连接均采用 1/4 桥接方式，并在相同材质的铝合金圆筒上黏贴 3 枚电阻应变片作为温度补偿使用，所有电阻应变片的灵敏系数为 2.0。在测点 1 和测点 2 的电阻应变花附近分别沿机翼纵向黏贴两枚封装式 FBG 应变传感器 A 和 B。封装式 FBG 应变传感器的灵敏系数为 1.67。

2、机翼静态加载试验过程及结果分析

在此次试验中，同时对呈悬臂态的机翼 4 个加载点进行分级加载，共分 5 级，分别为 150、200、250、350、450N。由于黏贴在测点 1 和测点 2 处的两枚封装式 FBG 应变传感器对拉应力最敏感，所以在机翼加载之前对封装式 FBG 应变传感器进行预拉。测点 1 处的 FBG 应变传感器预拉后的中心波长为 1539.9307nm，测点 2 处的 FBG 应变传感器预拉后的中心波长为 1533.7493nm。试验测得测点 1 和测点 2 处的应变情况列于表 2 和表 3。

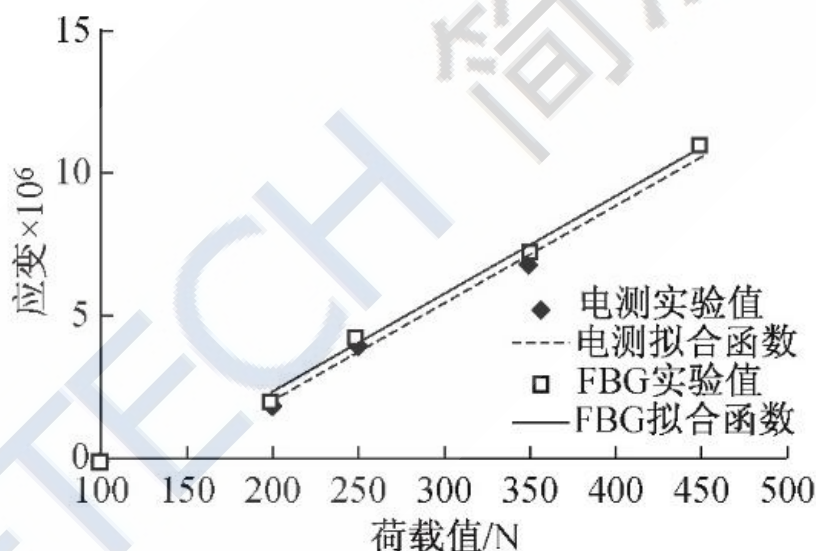
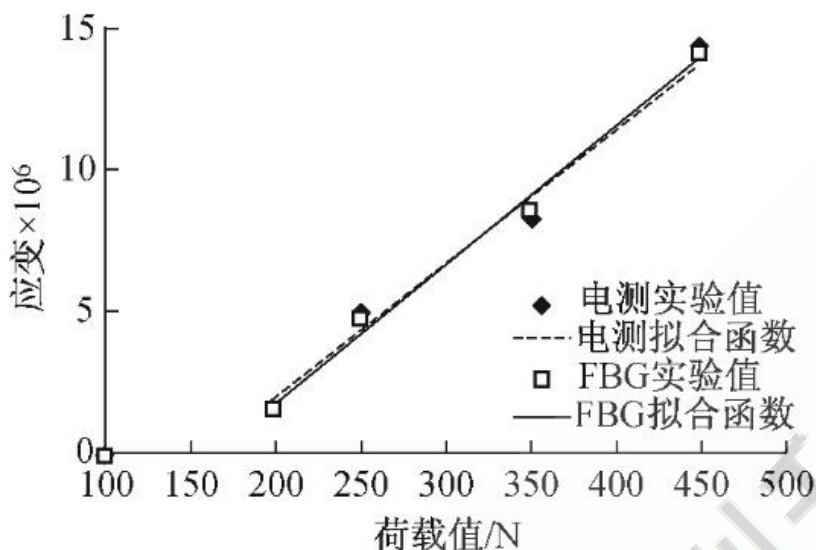
荷载级数	应变片应 变 $\times 10^6$	FBG 波 长/nm	FBG 应 变 $\times 10^6$	误差/%
0	0	1 539.930 7	0	0
1	0	1 539.930 8	0	0
2	1.83	1 539.932 5	1.5	18.03
3	4.86	1 539.938 5	4.7	3.29
4	8.11	1 539.944 2	8.5	4.81
5	14.32	1 539.953 5	14.1	1.54

表 2 测点 1 应变

荷载级数	应变片应 变 $\times 10^6$	FBG 波 长/nm	FBG 应 变 $\times 10^6$	误差/%
0	0	1 533.749 3	0	0
1	0	1 533.749 3	0	0
2	1.92	1 533.752 6	2.0	4.17
3	3.96	1 533.756 3	4.2	6.06
4	6.73	1 533.761 3	7.2	6.98
5	10.58	1 533.767 3	10.8	2.08

表3 测点2应变

将表 2 和表 3 中机翼蒙皮产生应变时，各加载级数下的电阻应变与 FBG 应变拟合成一次函数(见图 8 和图 9)。



从表 2 和表 3 中可知，机翼蒙皮在 2 级加载之前，没有应变产生，这是由于杠杆自重的原因，在作动筒施加载荷达到 250N 之前，机翼实际未受到拉力，因此，没有测出机翼受拉时的应变。测点 2 处的电测应变与 FBG 应变非常接近，相对误差不超过 10%。测点 1 处在 2 级加载时，电测应变与 FBG 应变相对误差达到 18.03%，但这是由于荷载值很小，机翼蒙皮产生的应变很小，电测值不可避免的产生应变零漂移现象。随着加载的增大，机翼蒙皮应变的增大，电测应变与 FBG 应变相对误差越来越小。从图 8、9 也可看出，电测应变一次拟合函数与 FBG 应变一次拟合函数非常接近，且在各级载荷下的 FBG 应变实验值非常靠近一次拟合函

数，说明 FBG 应变与载荷成良好的线性关系。综上得出，FBG 传感器完全可以代替传统电测类传感器，并且由于其自身电测类传感器无法比拟的优点，将会在工程中具有广阔的应用前景。

2、 设备参考：

1) 光纤光栅解调仪



光纤光栅测量指标	
光路数量	4、6、8, 15, 24可选
波长范围	1510~1590nm
精度	1pm
稳定性	±2pm
光源	波长扫描型光纤激光器
光纤光栅反射光功率	-5dBm(Max)
动态范围	50dB
弱信号增益	20dB
扫描频率	2Hz
通道间同步采集	是
光学接头	FC/APC
光谱功能	全光谱
数据/软件特性	
板载硬/软件输出信号	全光谱或峰值信号
远程软件	系统远程控制软件和数据远程监测软件
源代码	支持基于LabVIEW的源代码
电气特性	
电源供应	+ 19~30VDC
数据传输接口	以太网
功率	20W典型
机械特性	
工作温度	-20~55℃
外型尺寸	250×320×185mm

2) 微型光纤光栅传感器



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°C
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

通过等强度悬臂梁的静态加载试验和飞机机翼的静态加载试验中的应变监测结果的分析，验证了封装式 FBG 应变传感器在实际工程结构中的适用性。在试验中保持了基本的线性，能够快速、准确地传导光波并测量试件的实际应变情况。并且相对于传统电阻应变片，无零漂等优势也表现的较为明显。其次，传统电阻应变片只能测量结构表面的应变情况，但结构内部的应变情况常常很难用传统电阻应变片得到，而 FBG 传感器通过一定的封装技术可以埋入材料内部，可以实现对材料内部的应变情况进行监测，显现出其作为新生的应变传感元件得天独厚的优势，为其大范围地应用于航空领域具有重要意义。