

# 结构疲劳试验中应变数据测量模式研究

杨东涛, 胡瑞麟, 代欣怡, 弓长岐

(中国飞机强度研究所强度与结构完整性全国重点实验室, 陕西西安 710065)

**[摘要]** 在疲劳试验过程中, 数据测量至关重要。文章通过研究3种模式的疲劳试验应变数据测量, 对比不同的测量设备及应变片粘贴及连接方式, 给出结构疲劳试验中应变数据测量最为稳定的测量方式, 保证了试验运行的安全。

**[关键词]** 疲劳试验; 应变; 数据测量

**[中图分类号]** TN710.1; TN602 **[文献标志码]** A

结构疲劳试验主要目的是验证暴露结构的疲劳薄弱部位、确定裂纹扩展寿命、确定结构的使用寿命, 以及验证结构是否满足耐久性/损伤容限设计要求, 为结构设计、工艺改进提供依据<sup>[1-2]</sup>

结构疲劳试验通过各种形式数据的测量, 为达到试验目的提供数据依据。在所有的测量数据中, 应变是最主要的数据测量形式, 在结构试验中要布置大量的应变片来实现海量的应变数据测量<sup>[3-4]</sup>。保证应变测量数据的准确至关重要。在试验过程中影响应变数据的环节包括应变片、粘贴剂的选型、应变线缆的连接方式, 以及测量设备的选取。文章对3种模式结构疲劳试验中的应变数据测量进行对比, 通过对比给出结构疲劳试验中最优的应变测量方式。

## 1 A模式结构疲劳试验

A模式结构疲劳试验采用的应变片是中航电测A级应变片, 粘贴剂选用502胶水, 应变片扁平线续接选用刺破式10P插排。A型结构疲劳试验所用的测量设备为HBM-MGCplus数据采集系统, 该系统硬件采用模块化设计, 具有极高的灵活性, 由台式外壳或机架、通信处理器、测量放大器和连接板组成。数据采集软件采用Catman, 该采集软件可组成20000通道的高精度测量链。

### 1.1 静态测量数据分析

在试验开始调试后, 完成多次静态测量与动态调试, 图1为静态测量部分应变数据。在静态测量过程中, 载荷一般逐级加载, 因此应变响应应该是线性的, 由图1可知, 应变数据线性良好, 测量系统稳定。

### 1.2 疲劳数据分析

在全机疲劳试验中, 结构在相同载荷工况下的响应应变理论上是不变的, 考虑到加载系统和测量系统存在的误差, 实测应变应当在某个范围内变化。为此在疲劳数据分

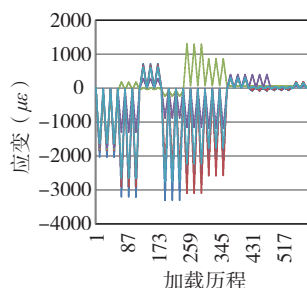


图1 静态测量应变数据

析过程中, 选取相同载荷工况的应变数据进行分析统计, 选取连续84个起落相同载荷工况的测量数据进行分析, 方差统计如图2所示, 可以看出, 数据波动较小, 方差在20~50之间最多。

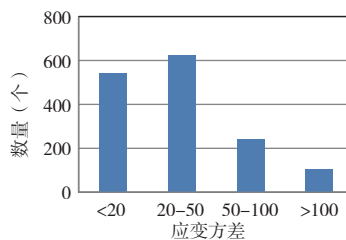


图2 A模式相同载荷工况应变数据方差统计

## 2 B模式结构疲劳试验

B模式结构疲劳试验使用的试验设备采用VTI数据采集系统, 该系统是北京瑞风协同研发的分布式多路数据采集系统, 硬件是EX1629。EX1629是一款远程电压/应变测量仪, 采用分布式的仪器结构, 可以提供高密度、高性能的应变采集功能, 为用户提供可靠、精确的数据, 广泛应用于大型结构测试以及通用的数据采集。应变片选用中航电测的A级应变片, 粘贴剂选用416胶水。应变片接线用UY2双刀片二芯接线子连接, UY2双刀片二芯接线子采用单体防潮式结构, 聚丙烯透明壳体, 泾类密封防潮剂, 镀锡黄铜合金双卡接刀片, 用于导线接续用, 适用线径为

0.4~0.9mm，最大外皮直径为2.08mm的导线。施工方便，接触可靠，解决了焊接繁琐的问题，接线时无需剥线，只需将线头插入接线孔，经按压一次简单动作即可完成连接，故操作简便快速，如图3所示。

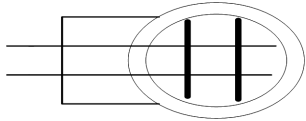


图3 UY2接线端子原理示意图

### 2.1 静态测量数据

部分应变-载荷曲线如图4所示，可以看出，测量系统稳定，应变数据线性良好。

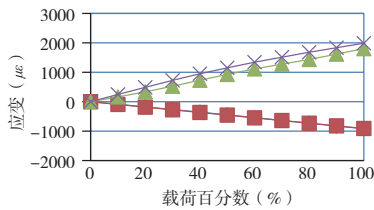


图4 静态测量部分应变-载荷曲线

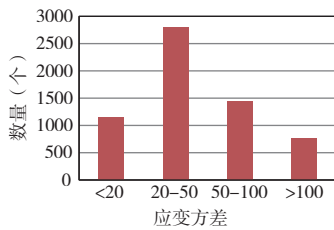


图5 B模式相同载荷工况应变数据方差统计

### 2.2 疲劳数据分析

选取连续112个起落相同载荷工况的测量数据进行分析，方差统计如图5所示，可以看出，数据波动较小，方差在20~50之间最多。

### 3 C模式结构疲劳试验

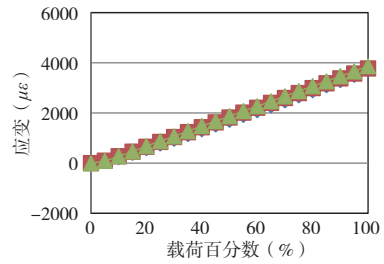
C模式结构疲劳试验采用的测量设备是HBM-Canhead，该测量设备使用了准分布式测量模式，减少应变片连接线的长度。应变片选用HBM应变片，粘贴剂选用406胶，应变片接线全部为焊接加热塑管保护。

#### 3.1 静态测量数据

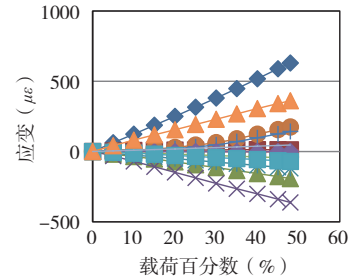
部分静态测量数据见图6，可以看出，在线性载荷加载下，应变值线性变化。证明测量系统稳定，应变数据线性良好。

#### 3.2 疲劳数据分析

分别选取一段时间内的疲劳连续数据和连续90个起落相同载荷工况的测量数据进行分析统计方差统计，如图7所示。可以看出，疲劳试验所采集应变数据稳定，相同载

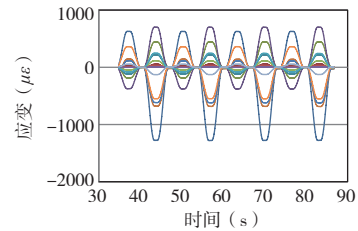


(a) 部分大应变载荷曲线

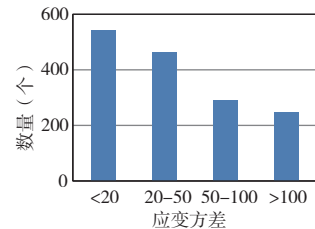


(b) 部分小应变载荷曲线

图6 静态测量应变载荷数据



(a) 疲劳运行数据



(b) 方差统计

图7 疲劳数据

荷工况疲劳数据波动较小，方差在小于20的占比最多。

### 4 结论

全机疲劳试验中，结构在相同载荷工况下的响应应变理论上是不变的，考虑到加载系统和测量系统存在的误差，实测应变应当在某个范围内变化。在疲劳试验运行过程中对应变数据进行监控是确保疲劳稳定安全进行的重要手段。文章对比了3种模式结构疲劳试验的应变测量方式及应变数据。由静态测量数据可知，3种模式的疲劳实验数据测量系统均运行稳定，由疲劳试验数据可知，C模式的结构疲劳试验数据最为稳定。因此在后续的结构疲劳试验中，优先使用第三种模式的疲劳试验方法，提高应变数据

的稳定性，保证试验的运行安全，文章为后续的结构疲劳试验数据测量提供了参考。

#### 参考文献

- [1]强宝平.飞机结构强度地面试验[M].北京:航空工业出版社,2014.
- [2]范瑞娟,王新波,杨剑锋.通用飞机全尺寸疲劳验证试验技术[J].航空科学技术,2016,27(6):57-61.
- [3]安刚,王晓鑫,杜振华.应变测量数据在全尺寸飞机结

构疲劳试验裂纹检测中的应用[J].强度与环境,2012,39(2):14-19.

- [4]孙侠生,肖迎春.飞机结构健康监测技术的机遇与挑战[J].航空学报,2014,35(12):3199-3212.

#### 作者简介

杨东涛(1984—),男,陕西富平人,硕士研究生,工程师,主要研究方向为数据测量与分析。

(编辑:凌瑞)

(上接第188页)

#### 4 结束语

与传统加固方法相比,先进复合材料加固方案铁塔加固技术具有显著的优势:①复合材料具有轻质高强的特性,可以显著减轻铁塔的自重负荷,降低了基础要求,同时不会增加额外的荷载;②复合材料具有出色的耐腐蚀性能,可以有效防止气候和环境因素对塔体的损害,从而延长铁塔的使用寿命;③维护方面,由于复合材料的耐久性,铁塔的维护成本和频率得到了降低,节省了维护开支。总体而言,复合材料加固铁塔技术在结构强化、耐腐蚀、抗振等方面具有显著优势,为现代铁塔的可靠性、安全性和经济性提供了一种创新而可行的解决方案。

#### 参考文献

- [1]韩军科,杨靖波,杨风利,等.输电铁塔加固补强承载力研究[J].工业建筑,2010,40(7):114-117,13.
- [2]杨帆.一种输电铁塔结构的加固方法及应用[C]//第七届全国现代结构工程学术研讨会论文集,2007.
- [3]谢伦武,熊峰.既有自立式钢结构铁塔结构的安全性

检测与鉴定方法初探[J].四川建筑科学研究,2013,39(1):71-74.

- [4]郝英奇,黄银圣,刘和友.楼面移动通信铁塔设计方案及加固措施[J].安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2005,13(4):17-20.
- [5]万云冬.通信铁塔加固技术研究[J].钢结构,2014,29(8):14-17.
- [6]李振宝,庄修伟,韩军科,等.角钢加固输电铁塔十字形组合截面主材承载力试验研究[J].工业建筑,2010,40(增刊):1088-1094.
- [7]周文涛,韩军科,杨靖波,等.输电铁塔主材加固方法试验[J].电网与清洁能源,2009,25(7):25-29.
- [8]杜帅宝,张忠文,菅明健.输电角钢塔带电焊接加固技术研究[J].现代焊接,2016(6):38-41.

#### 作者简介

崔融(1980—),男,甘肃兰州人,本科,高级工程师,主要研究方向为通信塔相关技术。

(编辑:凌瑞)