

飞机结构强度试飞测试技术应用研究

查成志 李天志 廖锦川 曹放华 胡东升

摘要 以某飞机结构强度测试为例,简介了飞机结构强度的测试方法,对目前所采用的有关应变的测试进行了比较,说明了各种测量方法如何在工程实践上进行应用。特别是针对目前应变测量中所预见的各种问题进行了分析,并提出了自己的意见和建议。

关键词 飞机结构 强度试验 飞行试验 测试技术

1 前言

飞机结构强度试飞测试就是在飞机真实飞行过程中,测试由于飞机各部分因气动力、结构力、弹性力及温度场变化等共同作用下而产生的结构强度应力的变化。结构强度的测试主要就是对飞机的应变的测量,而这种测量属于非电量的电测技术的一种。这种测量技术首先应用在航空和机械制造中,特别是在国防军工行业中应用十分广泛。

应变的测量从力学的角度来说并不困难,但是对于在空中飞行的飞机进行测量将会面临许多新的问题和困难,国内的飞机结构强度试飞测试技术还处于一个刚刚起步的阶段,测试中难点多、具有高难度、高风险的特点。

2 测试原理分析

2.1 结构强度测试基本理论

应力就是物体单位面积上的内力,应力是有方向的,我们所谈的应力是一个多方向的力的合成力。

应变就是在应力的作用下物体产生的内部的形变。而我们所测的结构强度也就是主要测量这一形变量,从而计算出该点所受的应力的。结构强度中应变力的测量中力的种类是多种多样的,如:拉力,弯力,减力,

扭力等等。

飞机结构强度测试要对作用在飞机所有主要部件(机翼、机身、尾翼、起落架)、舵面(副翼、升降舵、方向舵)、偏转面(襟翼、前缘襟翼、减速板)等地方的载荷进行测量,测量的结果要既能估计力和力矩,又能估算单个最重要和受力最严重结构因受力产生的内力。

应变的测量是将应变片粘贴在所需测量的形变构件表面,如飞机机翼后梁下耳片侧面、机翼副翼拉杆、平尾蒙皮等。当构件发生形变时,应变片将会随着构件的形变而改变它本身的电阻值。而电阻的相对变化 $\Delta R/R$ 与所测的应变 $e = \Delta L/L$ 成正比。其中: ΔL 为应变片受力后的长度改变量。在实际测量的过程中我们用微应变(μe)的概念来表示应变量的大小。我们认为为了更好的反映应变的情况我们希望应变片形变 $\Delta L/L$ 时电阻的变化 $\Delta R/R$ 越大越好。所以又引入了应变的灵敏系数 K 的概念:

$$K = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

K 反应了应变测量对材料的要求,在实际应用中我们一般选用 $K = 2$ 左右的应变片,在实际购买应变片的过程中厂家将会提供每个应变片的 K 值大小。此时:

$$\mu e = \frac{\Delta R}{RK} \times 10^{-6}$$

在工程实践中对应变的测量都是采用慧

斯顿电桥原理来实现非电量测量。通常有以下几种方式:1、全桥测量,2、半桥测量,3、单片测量。

2.2 全桥测量

所谓全桥测量就是将应变计和固定电阻组成一个惠斯顿电桥,对其中的主动应变计进行测量。这种测量方法中主动应变计的数量可以根据所选的全桥测量电路的不同而进行选择。根据主动应变计的数量又可以分为单臂工作电桥、差动工作电桥(双臂工作电桥)、四臂工作电桥方式。

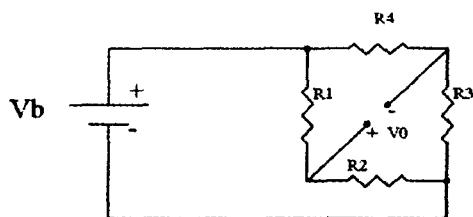


图1 惠斯顿全桥电路

2.3 半桥测量

半桥测量就是用应变计和固定电阻组成一个惠斯顿电桥的半桥进行测量,它们都可以解决测量过程中由于温度而使电阻产生变化从而影响测量结果的问题即温度补偿问题。全桥和半桥测量的原理基本相同,通用半桥电路如下图所示:

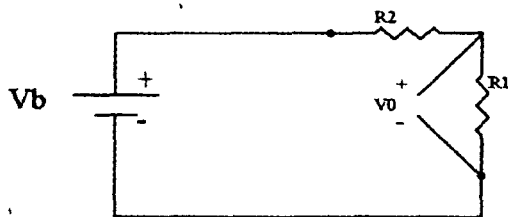


图2 半桥测量

2.4 单片测量

单片测量就是只在被测点的应变计的两端加上激励电压,相当于直接将可变电阻的电阻值变化成电压值进行测量,这种测量方法由于受温度的影响会造成测量结果极不准确,因此我们在测量的实际运用中一般不选择这种方式。

3 飞机结构强度测试技术在国产某型飞机中的应用

3.1 测试方案的选择

在国产某型飞机的结构强度测试工作中我们对几种测试方案进行了比较:

1) 全桥测量:这种测量方式的测量精度是最好的,如果采用这种测量方式考虑到飞机可用于粘贴应变片的位置较小,而且有的地方可达性较差,只能采用单臂工作电桥模式,即要在测试的点贴一片主应变片,其余三个组桥电阻放入一个电桥盒中,将电桥盒放在飞机上可用于安装的地方。这种测量方式的电压有如下关系:

$$U_0 = -\frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R}{R + 1/2 \Delta R} \right) U_b$$

当 $\Delta R < R$ 时,我们取

$$U_0 = \frac{1}{4} K_{ue} U_b E - 6$$

利用这种测量方式存在几点不利之处。一是无应变发生的情况下 $R1 - R4$ 这几个电阻值如果有不同就会造成电桥输出电压 $V0$ 不为0,从而引发一个电桥配平的问题。因此在每次飞行前要对各路应变进行调零,这样零位调节十分不方便,也影响飞行的连贯性。二是温度对应变片电阻值的影响将会对测试结果带来很大的误差。如果在进行全机结构强度测试时采用电桥盒的办法,那么在高温区特别是发动机舱附近的应变片的应变产生的原因就会包含很大的温度因素的影响,测量出来的结果将不能真实地反应飞机本身结构的形变。

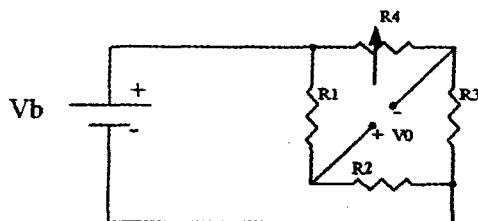


图3

2) 半桥测量:半桥测量的精度不如全桥

测量。但是半桥测量可以消除温度变化对测量结果的影响。但其零位调节如果采用手动的方式进行也十分麻烦。

通过对比和实际试验的结果,我们在国产某型飞机上采用了半桥测量的方法,其中为了消除温度对测量结果的影响我们在测量方法上做了一些变化,具体测量方法如下:

采用半桥测量的原理用两个相同型号的应变片组桥。如在图2中的R1、R2采用同型号的电阻值相同、K值相同的应变片。

R1作为主应变片贴在要求测量位置。R2作为R1的组桥片,就需要在飞机上找一个与主应变片同温度场而又不受力的点,将R2粘贴在这个地方,那么测量出来的应变值就只是主应变片的形变量。但是飞机在飞行过程中由于空气产生的振动以及各种因素都会造成飞机各个部分都有一定的受力,而这

个受力又是不可避免。因此在实践过程中,我们采用了加装补偿块的方式,即在同一温度场中,加装一个与主应变片粘贴点同材料的90°的弯角片,将其一端固定在飞机框梁上,另一端悬空,悬空部分长度刚好能粘贴应变片及能将导线固定,以免因为悬空过长而因抖动产生测量信号的不准确。而补偿片就粘贴在悬空的面上。这样就可以保证补偿片的受力情况基本为0。从而实现了仅测量主应变片的形变情况的目的。

3.2 测试系统组成

国产某型机应变测试系统主要由8路桥路采集卡KAM/ADC/009/S2、KAM500采集器、功放、遥测发射机、记录器等组成,工作原理见图4。根据具体情况可以不选用调零器,而零位值的调节在数据处理的过程中进行。

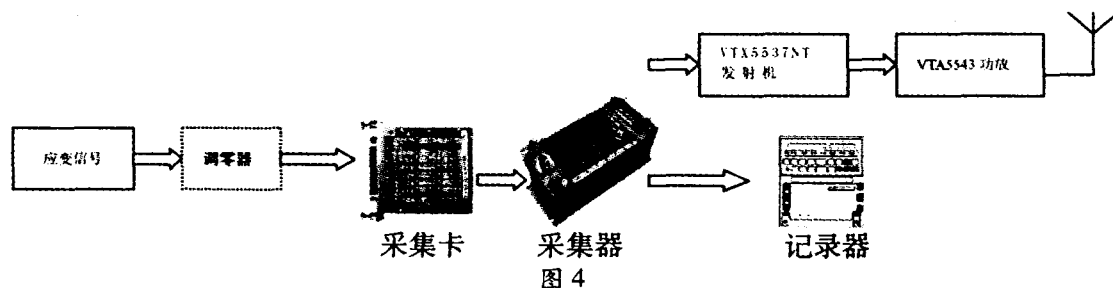


图4

3.3 应变片的试验室校准

应变测试系统在进行试飞前在有条件的情况下应当进行试验室和机上校准,试验室校准的目的是为了对采集系统通道的误差进行校准,负责课题的人可以根据校线进行事后数据处理。试验的方法就是模拟飞机上的状态进行应变测试系统的连接,模拟工作片工作时,只能用并联一个电阻 R_x 的办法,使工作片的电阻产生变化,用不同的 R_x 并入工作片上以得到不同的 $\Delta R/R$ 值,也就可以计算出不同的 ue 的值。

如果要得到精确的应变校准公式还应当进行全机的机上应变校准,但是我们通过实践发现要在机上通过应变仪加载不同的 ue 在工程实践上是很难完成的。因此在这次应

变测试的过程中没有进行应变的机上校准,如果在测试过程中没有条件进行零位调节和机上校准,那么零位的调节只有课题通过在每一次飞行前,记录一个或通过记录器的数据记录获得当前飞机应变零位值。将这个零位值代入理论计算公式获得测量的结果。

3.4 实际采集中消除导线影响的方法

在飞机结构强度测试的过程中有许多影响因素:温度干扰、信号干扰、导线电阻干扰等等、而导线干扰对结构强度的测试影响是十分大的。我们所测量的应变所对应的电阻变化也就是几欧姆的变化范围,而导线的电阻一般也有1欧姆左右,所以必须在测试中将导线电阻的灵敏系数求出,加入到计算公式中,得到较为精确的应变测量结果。

1) 单片接法的工程灵敏度修正系数:

$$F_{ei} = \frac{R_G}{R_G + R_L} \times S_{fi}$$

S_{fi} : 各通道对应相应量程自校的工程灵敏度系数。

F_{ei} : 消除导线的影响, 修正后各通道对相应量程的工程灵敏度系数。

单位: $\mu\epsilon/mV$

R_L : 一组导线电阻, 通过实测输入该参数。

R_G : 应变片的标称电阻值。

2) 半桥接法(一个工作片、另一个为补偿片)的工程灵敏度修正系数:

$$F_{ei} = \frac{R_G}{R_G + R_L/2} \times S_{fi}$$

3) 全桥接法的工程灵敏度修正系数:

全桥时与单片接法的修正系数相同

$$F_{ei} = \frac{R_G}{R_G + R_L} \times S_{fi}$$

根据选择所电阻应变计的灵敏度系数, 获得实际采集的应变值

$$\epsilon_{ci} = \frac{K_i}{K_p} * \epsilon_{mi} = \frac{K_i}{K_p} * F_{ei} * U_{oi}$$

ϵ_{ci} : 实际采集的应变值, 单位为 $\mu\epsilon$ 。

ϵ_{mi} : 测量的原始应变值, 单位为 $\mu\epsilon$ 。

K_p : 电阻应变计灵敏度系数(无量纲)。

根据选择所电阻应变计的灵敏度系数, 通过界面输入该参数。

U_{oi} : 采集各通道的输出电压值(已减零

位处理的值)。单位为 mV 。

4 结束语

通过结构强度的测试在某型飞机中应用, 我们认识到应变测量在工程实践中应当注意:

1) 测试方案要根据所测试飞机具体情况来制定。

2) 测试工程中要消除各种因素对测试结果的干扰, 如: 热强度、导线电阻、桥路平衡等。

3) 在今后的测试中要利用智能调零装置全面取代人工手动调零, 这个功能也可以在采集板卡中实现。

4) 参数校线要根据实际情况来进行标定, 课题进行处理时还要加入各种灵敏系数, 这样测出的数据才能真实反映各点的应力情况。

参考文献

- [1] J. 阿弗里尔主编. 陈棣华、余天庆等译. 实验应力分析手册[法]. 北京: 机械工业出版社
- [2] ACRA CONTROL 公司主编 KAM - 500 APPLICATION BOOK