

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.03.15

摆式加速度计零位偏离故障分析

张朋好¹, 姜程², 崔奇¹, 杨国军¹, 胡慧颖¹

(1. 中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095; 2. 空军驻华北地区军事代表室, 北京 100013)

摘 要: 针对悬丝支承摆式加速度计的输出零位偏离问题, 通过故障树图进行了机理分析和试验验证, 得出了输出零位偏离是由信号传感器对称线圈发生形变导致的结论, 并提出了纠正预防措施。

关键词: 加速度计; 零位偏离; 信号传感器; 故障树

中图分类号: TB934; TH824.4

文章标识码: A

文章编号: 1674-5795 (2016) 03-0058-03

Fault Analysis on Crossover Position Deviation for the Pendulous Accelerometers

ZHANG Penghao¹, JIANG Cheng², CUI Qi¹, YANG Guojun¹, HU Huiying¹

(1. Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China;

2. Air Force Military Affairs Delegation of North, Beijing 100013, China)

Abstract: This paper, for the crossover position deviate fault of a certain type of pendulous accelerometer, analyses the mechanism through the fault tree diagram analysis and makes experimental verification. It has concluded that the output of crossover position deviation is resulted from the symmetrical coil deformation of signal sensor of the pendulous accelerometer, it has proposed the corrective and preventive measures in this paper.

Key words: accelerometer; crossover position deviate; signal sensors; fault tree

0 引言

本文进行零位偏离故障分析的摆式加速度计是一种悬丝支承结构的单轴摆式线加速度计, 具有体积小、功耗低、灵敏度高、过载能力大、工作温度范围宽和抗振动冲击能力强等优点, 目前广泛应用在各类惯导系统中, 主要用于测量运动载体坐标系上的线加速度, 并通过惯导系统解算出运动载体的速度和位移等导航参数, 实现精确制导和导航。

该型加速度计在惯测分组件静态标定过程的低温 (-50°C) 试验时, 其中 1 只加速度计在加速度通道中发生输出零位偏离, 测试结果为 -0.0023 g 。将该加速度计拆除单独进行全温测试, 低温 (-50°C) 零位为 -0.00253 g , 与该加速度计交付时的低温 (-50°C) 零位 0.00268 g 相比发生了较大变化。后经过返厂反复测试各项静态性能指标, 数据均较稳定, 未发生零位进一步偏离的现象。

描述该型加速度计装配精度的主要参数包括输出

零位和对称度。因此, 分析输出零位偏离故障, 采取纠正预防措施, 对产品装配精度的提升具有十分重要的意义。

1 摆式加速度计组成及工作原理

摆式加速度计原理组成见图 1, 主要功能模块包括信号传感器、力矩器、再平衡回路和摆组件四部分。其中信号传感器 (由信号器骨架、对称的差动线圈和涡流片构成, 差动线圈胶结在骨架上, 涡流片刚性固定在摆框架上) 的主要功能是将涡流片的位移转换为便于测量的电信号。装配时可以通过调整信号传感器骨架的位置来调整涡流片在差动线圈中的平衡位置, 进而调整加速度计的输出零位。

摆式加速度计的工作原理为: 加速度计通电工作后, 在没有外界加速度作用时, 涡流片在信号传感器差动线圈的中间 (称为平衡位置, 对应输出为“零位”); 在被测 (或输入) 加速度 (a) 的作用下, 惯性摆 (含悬丝、摆框架和摆线圈等) 受力绕悬丝摆动产生惯性力矩, 带动涡流片偏离平衡位置, 涡流片的移动引起信号传感器差动电感发生变化, 并通过振荡器和放大器转变为电信号, 该电信号再经过力矩器平

收稿日期: 2016-03-25

作者简介: 张朋好 (1981-), 男, 工程师, 主要从事惯性器件生产管理及其测试方法研究。

衡回路形成反馈的直流电流加到摆线圈中，摆线圈的电流与永磁体的磁场相互作用形成安培力矩反馈到惯性摆上，通过安培力矩平衡惯性力矩激励涡流片始终处于平衡位置，同时加速度计输出反馈的直流电流，与被测加速度成正比。工程上常利用采样电阻板与摆线圈串接，可得到便于测量和计算的直流电压信号。

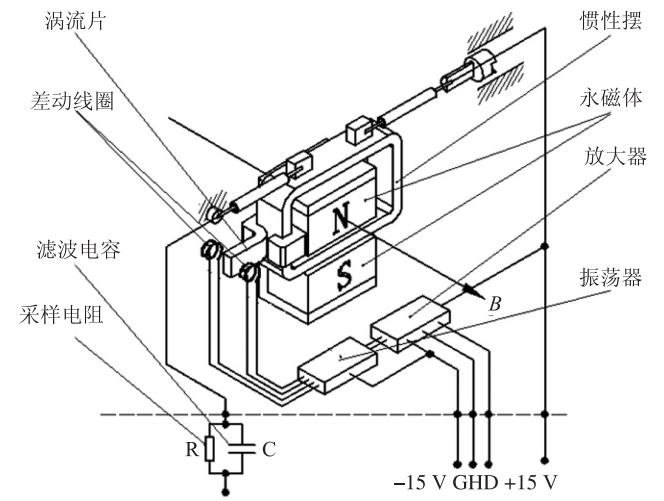


图1 悬丝支承摆式加速度计工作原理图

2 故障机理分析

根据故障归零的步骤，先后对产品进行了静态指标测试、X-射线透视、装机试验历程排查、开壳解剖和内部零组件排查等处理，结合摆式加速度计的结构组成、工作原理、同类产品使用过程中出现过的故障处理经验，对可能产生输出零位偏离的各种原因进行综合分析和定位，建立了输出零位偏离故障树，见图2。

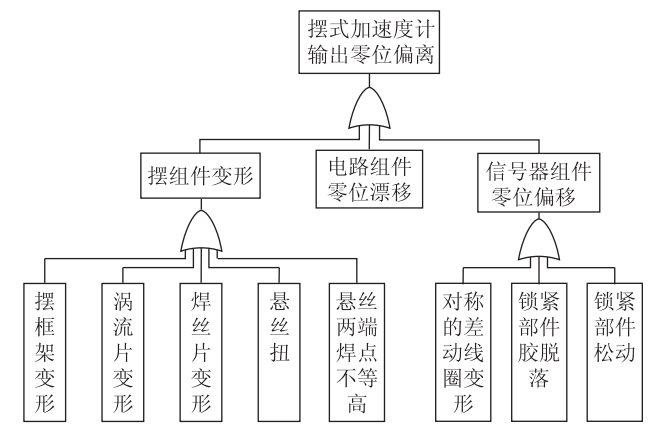


图2 摆式加速度计输出零位偏离故障树

由图2可知导致输出零位偏离存在9个相互独立

的原因事件，依次对图2中各原因事件进行分析，用排除法定位故障原因，分析结果见表1。考虑到产品内部组成结构尺寸较小，排查中主要采用 GmVnt 型显微镜图像检测系统（放大倍数为 40~300 倍）代替生产装配用的体视显微镜（放大倍数为 40 倍）进行内部结构检测。

表1 原因事件分析表

序号	原因事件	分析方法和途径	分析结果
1	电路组件零位漂移	返厂复测，对比零位数据无明显变化	排除该原因
2	摆框架变形	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因
3	涡流片变形	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因
4	焊丝片变形	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因
5	悬丝扭	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因
6	悬丝焊接两端处不等高	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因
7	对称的差动线圈变形	通过在显微图像检测系统下检查，发现信号传感器组件下线圈内侧有异常，进一步发现下线圈有轻微变形	导致信号传感器组件零位偏移
8	锁紧部件胶脱落	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因
9	锁紧部件松动	通过在显微图像检测系统下检查，无此情况	排除该原因

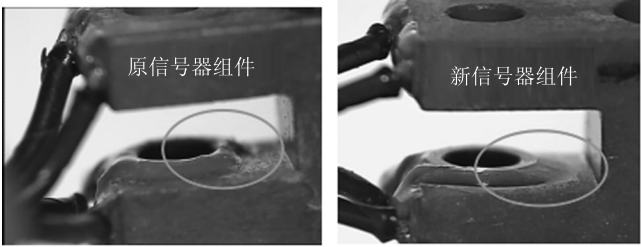
经过上述排查可定位：加速度计输出零位偏离是由于信号传感器组件的下线圈发生了一定程度的形变导致信号传感器零位偏移，从而导致产品输出零位偏离。导致信号传感器对称线圈发生形变的原因可能有：①信号传感器的支承骨架发生形变，引起胶结在其上的线圈受力而发生形变；②固定线圈的胶膜发生破裂或脱落，引起线圈受力而发生形变。

进一步检测发现，信号传感器的支承骨架未发生形变，而固定下线圈的内侧胶膜处有气泡状破裂，经分析，该气泡是由下线圈涂胶不均匀、固化时表面有残留气体形成的，局限于产品交付时的检验手段，没有及时发现，将该缺陷带入了高组装等级。在产品总装、交付、装配到惯测分组件至全弹的历程中经历了多次高低温循环试验和振动试验等可靠性增长试验后，诱发气泡在应力作用下最终破裂，导致下线圈受力而发生一定形变，从而导致加速度计输出零位偏离。

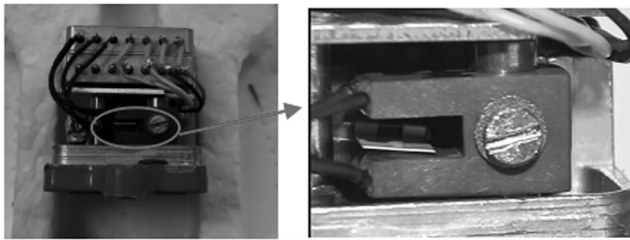
胶膜固化后形成的刚性支撑使线圈没有再发生进一步形变,所以加速度计在故障发生后的各项测试数据均较稳定。

3 故障复现试验

为了进一步验证产品输出零位偏离和信号传感器组件对称线圈形变的关系,将原故障信号传感器组件拆下,更换一只合格的信号传感器组件,见图3(对信号传感器放大100倍以上捕捉成像)。调试后重新进行重力场三温循环测试,数据满足工艺内控要求,见表2;再对合格信号器组件的下线圈进行施加外力致使其发生轻微形变,重新测试的数据又发生了较大偏离,故障复现,见表2。通过试验验证和表2的数据对比可判定前述的故障定位是准确的。



(a) 信号传感器下线圈对比



(b) 更换信号器组件

图3 更换信号传感器组件图示

表2 加速度计更换信号传感器前后
重力场下零位测试数据

温度 点/℃	原信号器 组件/g	更换新信号器组件/g		合格判据/g
		正常测试	破坏后测试	
20	-1.53×10^{-3}	3.59×10^{-4}	-2.09×10^{-3}	$-3 \times 10^{-3} \sim 3 \times 10^{-3}$
-50	-2.36×10^{-3}	6.74×10^{-4}	-3.06×10^{-3}	$-5.25 \times 10^{-3} \sim 5.25 \times 10^{-3}$
65	-8.10×10^{-4}	1.88×10^{-4}	-1.19×10^{-3}	$-4.2 \times 10^{-3} \sim 4.2 \times 10^{-3}$

通过以上的故障定位、故障树原因事件分析、试验验证以及故障风险分析,可得出如下结论:

1) 信号传感器对称线圈形变导致了信号传感器的零位发生偏移;

2) 信号传感器的零位发生偏移是加速度计输出零位偏离的原因。

4 解决措施

为防止信号传感器零位偏移导致加速度计输出零位偏离的故障发生,应采取的预防措施为:加强信号传感器线圈装配过程中上、下对称线圈的限位胶结工艺控制,增强装配的质量一致性;在信号传感器组件自检和专检过程中均采用有较高放大倍数的显微图像检测系统,以避免将微小的组件缺陷带入高组装等级。

参 考 文 献

[1] 中国人民解放军总装备部. GJB/Z 1391-2006 故障模式、影响及危害性分析指南[S]. 北京:总装备部军标出版发行部,2006.

[2] 国防科工委. GJB 1037A-2004 单轴摆式伺服线加速度计试验方法[S]. 北京:国防科工委军标出版发行部,2004.

[3] 何铁春,周世勤. 惯性导航加速度计[M]. 北京:国防工业出版社,1983.

[4] 张朋好. XX 加速度计输出零位偏离故障归零报告[R]. 北京:中航工业计量所,2015.

新书《聚焦超级核能》锁定
核辐射及其计量

本刊讯:2011年3月11日,日本大地震、海啸引发的核泄漏事件吸引了全世界对核安全的关注,人们不得不再次对核能的研发和利用进行全面的思考。为了让更多的读者了解核方面的知识和发展现状,了解核辐射的来源、特点、危害和防护,作者容超凡(国防科技工业电离辐射一级计量站原副站长)历时两年编著了《聚焦超级核能》一书,现已由北京出版社出版,全国新华书店经销。此书是北京市科技协会组织编写的系列科普丛书“科学家在做什么”中的一个分册,全书共4章,其中第3章详细介绍了核辐射的准确测量问题,从核辐射测量什么、核辐射与物质的相互作用、测量所用设备、测量仪器的检定和校准、测量结果的准确表述等方面做了通俗易懂的讲解,阅读这本书,对于从事计量测试技术的科研人员定能有所收获。