

doi: 10.7690/bgzdh.2014.10.016

某型导弹气动舵机稳态误差不稳定原因分析

肖精华, 张海波

(总装武汉军代局驻长沙地区军事代表室, 长沙 411207)

摘要: 针对某型导弹气动舵机在线返修率较高的情况, 对舵机稳态误差不稳定机理进行分析。简要介绍舵机的结构、特点及各部件的功能, 分解检查故障产品, 逐项排查生产过程, 找出造成舵机稳态误差不稳定的原因。在此基础上有针对性地提出相应措施。结果表明: 采用该方法使舵机的稳态误差不稳定现象得到显著改善, 确保了后续产品的质量。

关键词: 舵机; 故障; 电磁铁; 措施

中图分类号: TJ765.4 **文献标志码:** A

Pneumatic Actuator Steady State Error Unstable Reason Analysis of Certain Type Missile

Xiao Jinghua, Zhang Haibo

(PLA Military Presentation Office in Changsha District, PLA Military Representation Bureau of General Equipment Department Headquarters in Wuhan, Changsha 411207, China)

Abstract: Aiming at a certain type of missile aerodynamic online repair rate is high, analyzed the steady state error of instability mechanism. Briefed the structure, characteristics of steering gear and the function of each part, decomposition failure to check the product production process, one by one investigation, find out the cause of the steady-state error is not stable. On this basis, put forwards the corresponding measures. The results show that, using this method to make the state error the unstable phenomenon has been significantly improved, to ensure the quality of follow-up products.

Keywords: actuator; malfunction; electromagnet; measure

0 引言

在某型导弹首批生产过程中, 发现舵机在配套厂出厂验收全部合格的情况下, 总装厂在进厂验收、部件联试、振动筛选等各道工序中均发现较大比例的稳态误差超差, 有的甚至出现舵翼卡死现象。致使舵机的在线返修率比较高; 此问题直接关系到导弹的使用可靠性, 为此, 笔者从舵机的结构、工作原理入手, 按照“双规零”的具体要求, 对其进行了深入研究。

1 原因分析

为了便于分析舵机稳态误差不稳定的原因, 首先对舵机的结构、特点及各部件的功能作简要介绍。

1.1 舵机的结构、特点及各部件的功能

1.1.1 舵机的结构

某型导弹是我国自主研发的新一代多用途导弹, 采用激光驾束制导体制。其舵机是采用开关电磁阀控制的气动比例舵机, 由控制驱动器(由控制器和驱动器组成)、电磁阀(由电磁铁和气阀组成)、气源系统(由气瓶、开瓶装置和减压阀组成)、电位计、

本体和传动组件等部件组成。其结构如图 1^[1-2]。

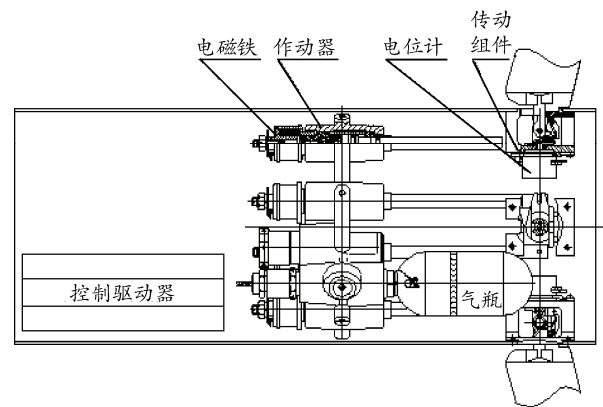


图 1 某型舵机结构

1.1.2 舵机的特点

该舵机具有 3 个方面的特点: 1) 利用控制器输出的脉冲调制信号经放大后去控制电磁阀, 得到近似连续的气体流量和压力信号以驱动执行元件; 2) 气动执行元件具有良好的低通滤波特性, 在输入为脉冲调制信号的情况下, 能得到平滑的输出; 3) 电磁阀具有开关速度快和结构简单等特性。因此, 开关式气动伺服系统的频响较高、抗干扰能力强、结构简单、成本低廉和对环境要求不高。

收稿日期: 2014-04-12; 修回日期: 2014-05-21

作者简介: 肖精华(1964—), 男, 湖南人, 工程硕士, 高级工程师, 从事反坦克弹质量监督研究。

1.1.3 各部件的功能

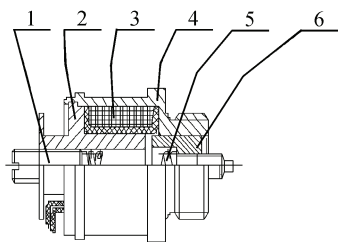
1) 控制器的功能是采集控制指令和舵机反馈电位计的电压信号,经求差、放大和校正网络的运算后形成控制运动的指令信号,再经舵机驱动器的功率放大,控制伺服电磁阀开关动作,带动舵面实现舵偏角度跟随指令信号。

2) 电磁阀的基本功能是快速向气缸控制腔充气、放气,使气缸达到控制所需要的压力。气缸是舵机的执行部件,在 PWM 控制状态下,起低通滤波作用,能使活塞形成与控制信号成比例连续运动。电磁阀是通过驱动器的指令控制线圈的通电来驱动衔铁(由衔铁体与顶针组成)作往复运动,当电磁铁的线圈通电时,电磁铁对衔铁产生吸力,衔铁压缩小弹簧向轭铁内运动,顶针释放气阀的钢珠,使气缸内充气。当电磁铁的线圈不充电时,电磁铁对衔铁没有吸力,衔铁在小弹簧抗力作用下向轭铁外运动,顶针顶住气阀的钢珠,使气缸放气。因此,电磁阀的小弹簧、衔铁顶针,进气排气孔必须具有较高的同轴度,才能确保其可靠性和可重复性。

3) 传动组件是把活塞的直线运动转化为舵翼的圆周摆动。

1.2 故障机理分析

对于一个控制系统来说,稳态误差是指期望的稳态输出量与实际的稳态输出量之差。稳态误差越小,说明控制精度越高。舵机是一个控制系统,它的稳态误差就是控制指令应使舵翼转动的角度与舵翼实际转动的角度之差。战技指标规定稳态误差不大于 0.5° 。舵机的稳态误差与起开关作用的电磁阀的运动灵活性密切相关。电磁阀由电磁铁(如图 2)与气阀组成,电磁铁是电磁阀的关键运动部件^[3-4]。



1: 螺钉; 2: 铁芯; 3: 线圈; 4: 轭铁; 5: 小弹簧; 6: 衔铁。

图 2 电磁铁结构

由于电磁铁的零部件中存在不完善因素,如衔铁与轭铁之间存在摩擦、间隙、不灵敏区等非线性因素,这些因素与小弹簧的垂直度、抗力、抗压强度,衔铁体内外圆的同轴度、小弹簧接触面的垂直度以及轭铁 $\phi 9.2$ 孔(衔铁在此孔内运动)的尺寸和光洁度等密切相关,从而造成稳态误差。这种误差

不可能完全消除,只能通过选用高精度的零部件,提高系统的增益值等途径来减少这种稳态误差。

现来分析有关因素对衔铁部件运动的影响:

1) 只要小弹簧存在垂直度问题,衔铁在小弹簧抗力的作用下,必定会产生一个侧向分力,使衔铁与轭铁之间产生摩擦。

2) 小弹簧的抗力是推动衔铁作往复运动的 2 个动力源之一(另一个是电磁铁的吸力),如果小弹簧的抗力小于正常值,就不能确保衔铁的正常运动。

3) 在正常情况下,小弹簧存在足够的抗压强度来确保小弹簧在高速往复运动的情况下不疲劳变形。否则,小弹簧一旦疲劳变形,既会增加衔铁与轭铁之间的摩擦,也会减少对衔铁的推动作用力。

4) 衔铁体(如图 3 所示)内外圆的同轴度不合格,或者与小弹簧接触面的垂直度不合格,造成的效果与小弹簧的垂直度不合格一样。

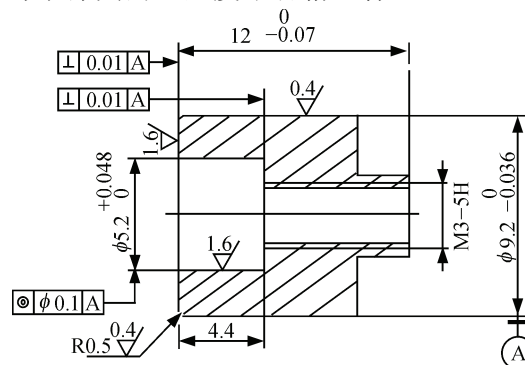


图 3 衔铁体零件

5) 如果轭铁 $\phi 9.2$ 孔的尺寸小,造成衔铁运动间隙小,增加了衔铁运动的摩擦力;如果轭铁 $\phi 9.2$ 孔的尺寸大,增加了衔铁的运动气隙,使得衔铁在运动时产生晃动。如果轭铁 $\phi 9.2$ 孔光洁度不合格,也会增加衔铁运动时的摩擦力。

因此,以上因素如果有一项不合格,就有可能造成稳态误差超差。

舵机稳态误差不稳定,说明产品经调试在某些位置是合格的,但经不起运输振动和反复测试。当产品经运输振动或反复测试后,偏离了合格位置就会出现稳态误差不合格现象。因此,造成稳态误差不稳定的原因除了电磁铁本身的因素外,装配工艺编制不合理也是一个重要原因。

2 故障排查

在基本确定故障原因的情况下,为了准确对故障进行定位,对各零部件的质量进行了全面排查。

2.1 对电磁铁零部件质量进行排查

抽取 20 个稳态误差不稳定电磁铁,对其进行分

解。一是对小弹簧进行材料分析、强压处理试验、弹簧抗力测试以及垂直度检测,全部合格;二是对衔铁 $\phi 9.2_{-0.036}^0$ 、 $\phi 5.2_{-0.048}^0$ 、同轴度 $\phi 0.1$ 、垂直度 0.01 等有关尺寸进行三坐标检测,发现 $\phi 0.1$ 同轴度尺寸有 14 件超差,最大的达到 $\phi 0.39$;垂直度 0.01 有 18 件超差,最大的达到 0.032,其余尺寸合格;三是检查轭铁 $\phi 9.2_{+0.025}^{+0.061}$ 孔尺寸及光洁度,发现有 13 件尺寸超出上限值,光洁度全部满足要求。

2.2 对电磁铁生产过程进行排查

通过对电磁铁生产厂家的生产过程进行排查发现,衔铁的形位公差(含同轴度和垂直度)全由工艺和工装保证,工艺中没有对首件送检和批抽检作出要求。轭铁 $\phi 9.2_{+0.025}^{+0.061}$ 孔尺寸是在精车前进行检测,精车后,为了不损伤内表面,没对此孔尺寸再检测。

2.3 对外购件进厂验收工艺进行排查

通过对外购件进厂验收工艺进行排查发现:电磁铁所有零部件的形位公差及轭铁 $\phi 9.2$ 孔等尺寸均未作为进厂验收项目进行进厂验收。

2.4 对装配工艺进行排查

对装配工艺进行排查发现,装配工艺编制不合理情况包括:振动筛选试验前后的检测项目不一致,振动筛选试验后未对稳态误差项目作检测要求;在装配过程中,一旦发现不合格产品,通过反复调试,合格后就往下流转;如果调试不好,再考虑更换衔铁等零部件,但未再进行振动筛选试验就直接往下流转。这时的合格产品,很多是一种假象。

3 故障复现

1) 故障复现分 4 种情况:①用同轴度不合格的衔铁和尺寸全部合格的其他零部件装配 5 发舵机;②用垂直度不合格的衔铁和尺寸全部合格的其他零部件装配 5 发舵机;③用 $\phi 9.2$ 孔不合格的轭铁和尺寸全部合格的其他零部件装配 5 发舵机;④用同轴度、垂直度均不合格的衔铁, $\phi 9.2$ 孔不合格的轭铁和尺寸全部合格的其他零部件装配 5 发舵机。然后进行性能调试,合格后进行振动筛选试验,结果稳态误差全部不合格,问题得到了复现。

2) 用尺寸和性能均合格的零部件装配 20 发舵机,然后进行反复测试,并经高低温、振动筛选试验,结果全部合格。

4 故障定位

从上面的故障机理分析、故障排查和故障复现

试验情况来看,造成舵机稳态误差不稳定的主要原因:一是电磁铁生产厂家生产工艺存在缺陷,未对衔铁体的同轴度和垂直度等形位公差提出检验要求,致使衔铁体形位公差、轭铁 $\phi 9.2$ 孔尺寸不合格的产品流入舵机生产厂家;二是舵机生产厂家进厂验收项目设计不合理,造成形位公差不合格的衔铁体和 $\phi 9.2$ 孔不合格的轭铁流入到装配现场;三是装配工艺编排不科学导致稳态误差不稳定的产品不能得到及时排除。

5 纠正及预防措施

1) 加强外购器材源头的质量控制,协助电磁铁厂家完善生产和检测工艺,对所有零部件的形位公差及轭铁 $\phi 9.2$ 孔尺寸均作首件送检和批抽检要求。

2) 对外购件进厂验收工艺进行修订和完善。一是增加零部件进厂验收的抽样比例;二是增加进厂验收项目,如小弹簧抗力、衔铁体的同轴度和垂直度、轭铁 $\phi 9.2$ 孔尺寸等。

3) 对装配工艺进行修订和完善。一是在装配前,对衔铁体形位公差、轭铁 $\phi 9.2$ 孔等零部件有关尺寸进行 100%检查;二是细化了装配工艺,增加了进舱体工装、振动筛选试验后检测、出舱体工装等工序,明确了振动筛选试验前后检测项目一致的要求;三是增加返修工艺,对装调过程中出现的不合格品如何返修进行了详细规定,如振动筛选试验后检测不合格的产品,不允许调试,必须更换相应零部件,再进行振动筛选试验^[5]。

6 结论

依据以上纠正及预防措施,在后续产品生产过程中,舵机的稳态误差不稳定现象得到了显著改善,虽然在导弹装配过程中虽有个别舵机稳态误差超差,但超差值很小,圆满解决了该质量问题。

参考文献:

- [1] 陈婧,王道波,沈娟,等. 无人驾驶旋翼机桨盘伺服舵机[J]. 兵工自动化, 2013, 32(5): 68-70.
- [2] 王丰,袁延昭,张新春,等. 共轭分析与传导度在导弹武器系统作战效能研究中的应用[J]. 兵工自动化, 2013, 32(11): 24-26.
- [3] 裴春兰,潘旭东,雍松林,等. 一种时序控制系统电磁兼容的实现[J]. 兵工自动化, 2013, 32(6): 52-55.
- [4] 靳智,沈培辉,刘凯. 电磁轨道炮电枢的运动特性研究[J]. 兵工自动化, 2013, 32(12): 1-3.
- [5] 张强,吴玉光. 三维定位误差计算软件原型系统开发[J]. 机电工程, 2013, 30(5): 557-561.