

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.02.08

一种新型导弹电锁精度测试系统设计

周丙寅, 滕雨彤

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 为了使具有内框架式动力陀螺平台的空空导弹电锁精度测试更加真实、直观, 研制开发出一套采用光学原理进行测试并利用 CCD 成像的新一代测试系统。介绍了该系统的工作原理及组成。目前该系统已在多型红外空空导弹测试中得到了应用验证。

关键词: 电锁精度; 测试; 陀螺; 光学原理

中图分类号: TB922; TJ760.6

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2016)02-0028-03

A New Design for Missile Electric Locking Accuracy Test System

ZHOU Bingyin, TENG Yutong

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

Abstract: In order to make the electric locking accuracy test in air-to-air missiles within the framework of power gyroscope platform more real and intuitive, a new generation of the test system by using optical principle and CCD imaging is developed. The working principle and composition of the system are introduced. At present, the system has been validated in multi-types of infrared air-to-air missile test.

Key words: electric locking accuracy; test; gyroscope; optics principle

0 引言

具有内框架式动力陀螺平台的红外型空空导弹陀螺电锁系统是为了有效捕获目标而设计的, 利用动力陀螺的定轴性直接或间接地锁定光轴, 电锁信号来源于导弹位标器本体中电锁线圈的输出, 系统的陀螺轴即由电锁线圈的电磁轴决定。在理想的电锁状态下, 系统保证陀螺轴和弹轴是重合的。然而在位标器本体实际制造过程中由于各种因素的影响及误差的存在无法将电锁线圈电磁轴与机械轴(弹轴)调整到理论上的完全重合, 必然会产生一个很小的夹角, 称之为电锁精度。如果夹角太大, 将影响定轴瞄准, 要通过对电锁线圈的调整使电锁精度满足设计要求。此前的测试方法采用的是电磁感应原理, 利用一个水平安装并带有磁性钢圈的模拟陀螺高速旋转后产生水平方向的交变磁场, 通过切割电锁线圈产生感应电压, 再根据感应电压的大小对电锁精度进行判断及调整。此方法由于不能反映出电锁精度的真实角度值, 使得测试结果存在了一定的误差; 同时由于测试过程不够直观, 导

致装调效率较低。为解决上述问题, 设计出一种新型的采用光学原理进行电锁精度测试的测试系统, 使整个过程更加真实、直观。

1 测试系统的光学原理

测试系统的光学原理如图 1 所示, 改造后的工艺陀螺端面装有反射镜 1, 陀螺中空为光通路, 底座上端面装有反射镜 2, 与轴线(弹轴)垂直。通过给位标器本体及其电锁线圈供电, 使带有磁性钢圈的陀螺在万向支架的作用下旋转并处于电锁状态, 则陀螺回转轴与电锁线圈的电磁轴重合。光源发出的光线分别经光栏、半反半透镜及物镜后变为平行光。平行光一部分经陀螺端面的反射镜 1 反射后折回, 另一部分通过陀螺中透光孔经底座反射面 2 反射后折回, 两部分平行光再分别经物镜(透镜)汇聚、半反半透镜反射后在 CCD(焦平面)上成像。由于陀螺高速旋转, 对应陀螺端面反射镜 1 反射的平行光成像像点轨迹为一个圆, 圆心反映陀螺回转轴的空间角度; 底座端面反射镜 2 反射的平行光对应成像像点反映弹轴空间角度, 二者之差即为陀螺回转轴与弹轴的偏差, 即为电锁精度。对 CCD 上的图像进行采集处理后通过对电锁线圈的调整, 使电锁精度满足设计要求。

收稿日期: 2016-03-01; **修回日期:** 2016-03-15

作者简介: 周丙寅(1986-), 男, 吉林九台人, 满族, 助理工程师, 毕业于南京航空航天大学, 研究方向: 机电一体化。

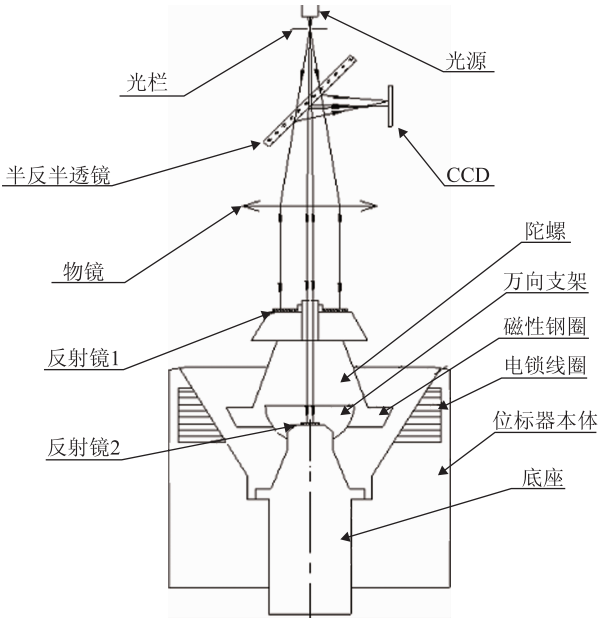


图1 测试系统的光学原理图

2 测试系统的组成

对系统进行设计时，主要将其分为3个组成部分：光学系统、控制及处理系统、机械系统。

2.1 光学系统

光学系统结构示意图如图2所示，包含光路(激光器、光阑、物镜、半反半透镜)、相应的结构支撑件(镜筒、光源座、CCD座、调焦夹具、套筒、物镜座、压紧螺母等)及CCD。

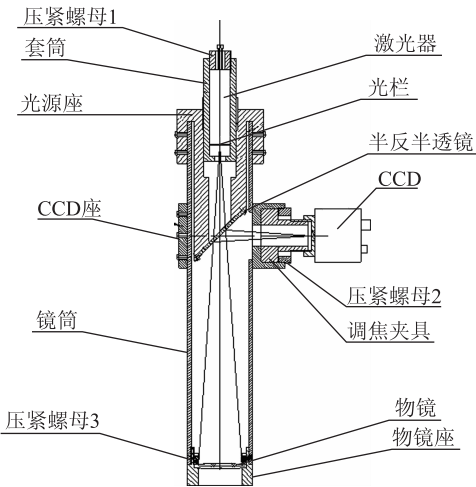


图2 光学系统结构图

由于整个光学系统的工作光程较长，且工作中光线多次反射会造成较大的能量损失，同时陀螺中通光口径较小，因此采用激光器作为光源，其优点为功率

大、亮度分布均匀、可聚焦且稳定性高。在激光器的类型上选择结构光图案激光发生器。结构光是从已知角度将某种特定光图案(如直线、十字线、网格或更复杂的形状)投射到物体上形成的投影，多用于视觉测量。系统在设计时将激光器发射光的图案选择为“十字线”形，该图案形成两个相互垂直的光束平面，两个平面的相交线既为光轴，即出射光线示出了光轴位置，方便能目视调节陀螺中通光轴(通光孔中心线)与之重合。

此外，光阑用于调整激光束范围，物镜用于产生平行光，在不考虑陀螺反射后能量损失的情况下，光线两次经过半反半透镜后其光强约为原来的1/4。

2.2 控制及处理系统

控制及处理系统主要包含两个方面的内容：首先是电气功能实现，包括相应设备及位标器本体的供电功能，驱动陀螺旋转并稳速，并使电锁线圈锁定陀螺；其次是图像采集、显示及处理功能，包含图像采集卡及相应的模块、软件编程等。其中图像采集卡应具备采集度高、使用灵活、功耗低等特点。

2.3 机械系统

机械系统用于对位标器本体的安装及调整，其结构设计如图3所示，主要包括用于调整光学系统垂直位移及锁定功能的支撑结构、用于调整电锁线圈位置的专用工装及一套四维支座。其中四维支座的设计是为了调节位标器本体的方位，保证陀螺中通光孔接收光源，因此机械系统应具有对被测位标器本体的方位和俯仰两个自由度的角度进行调整和锁紧的功能，同时具有360°自转功能。在设计四维支座时选择一台精密旋转台与一台精密二维倾斜台进行组合，同时配合一台精密一维水平平移台。

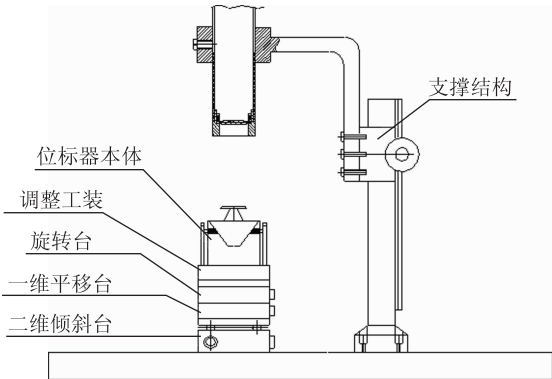


图3 机械系统结构图

3 图像处理

图像处理的主要任务有两个：一是识别通过陀螺中通光孔反射镜 2 反射后回来的光线在 CCD 上成像的“点”(代表弹轴)，并计算其中心的坐标(x_1, y_1)；二是识别旋转的陀螺上端面反射镜 1 反射的光线在 CCD 上成像的“圆”(代表陀螺轴)，并计算圆心的坐标(x_2, y_2)，就可以得到陀螺轴与弹轴的角度偏差 α 。即

$$\alpha \approx \arctan(\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} / f)$$

式中： f 为物镜的焦距。

因此，图像处理的设计重点是如何识别代表弹轴的“点”与代表陀螺轴的“圆”。首先，在连续的两帧图像叠加后，第一步是进行低阈值滤波，设置一个较低的阈值门限，去除杂散光的影响；第二步是进行高阈值滤波，根据叠加图像的最高亮度(对应“点”的亮度)，设置一个较高的阈值门限，将图像中的“圆”滤掉，此时整屏图像只剩下了“点”对应的像素，求像素的质心即可算出“点”的坐标(x_1, y_1)；第三步将“点”对应的像素亮度置零，这样整屏图像只剩下“圆”对应的像素，通过拟合曲线最小二乘法即可求出“圆”的圆心坐标(x_2, y_2)。点(x_1, y_1)与圆心(x_2, y_2)之间的距离即表征电锁精度，两者越接近表示电锁精度越高。测试系统实际工作过程中软件显示图像如图 4 所示。



图 4 测试系统软件显示图像

4 测试数据比对

测试系统设计研发后，用其试装调了 10 台位标器本体，将原有的采用电磁感应原理的测试系统生产出的位标器本体也随机挑选 10 台，对两组位标器本体进行电锁精度测试，并对测试结果进行比对。在整个比对过程中采用第三方测试系统(该系统为后序舱段级检测系统，该系统无法对位标器本体进行调整，只能用于检测)，并使用同一件陀螺，结果如表 1 所示。

表 1 测试结果比对表

序号	新系统第三方 测试数据/(°)	原系统第三方 测试数据/(°)
1	32.2	59.2
2	31.3	56.1
3	32.1	55.8
4	31.5	53.7
5	30.9	52.8
6	32.3	58.0
7	32.8	56.8
8	31.7	57.8
9	31.9	54.3
10	31.7	57.7

从表 1 可以看出，无论是在装调后的测试数据还是在测试数据的一致性上，新的光学测试系统都远远优于原有的电磁感应测试系统。此后，又对序号为 1 ~ 3 的位标器本体用新测试系统分别进行 5 次重复测量，结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出，新的光学测试系统具有良好的重复测量一致性。

表 2 新系统重复测量一致性试验结果

序号	5 次测量结果/(°)				
	第 1 次	第 2 次	第 3 次	第 4 次	第 5 次
1	32.2	32.1	32.2	32.1	32.2
2	31.3	31.3	31.3	31.4	31.3
3	32.1	32.0	32.0	32.1	32.1

5 结论

光学测试具有高准确度、高效率、非接触、易于实现自动化等诸多优势。本文将光学原理应用在空空导弹测试中，据此设计的电锁精度检测系统已在实践中得到验证并取代了原有采用电磁感应原理的检测方法。需要特别注意的是，在光学测试中应尽量排除杂散光的影响，避免 CCD 在成像时显得杂乱无章并导致软件识别及处理困难，通过在相关零件表面及通光孔内壁中涂抹黑色消光磁漆，并增加偏振片降低激光强度等方法可有效地对杂散光进行消除。除用于电锁精度测试外，测试系统还可用于对其他相关陀螺偏角进行检测。

参 考 文 献

[1] 郑志伟,白晓东,胡功衍,等.空空导弹红外导引系统设计[M].北京:国防工业出版社,2007.
[2] 王庆友.CCD 应用技术[M].天津:天津大学出版社,2000.
[3] 李林.应用光学[M].北京:北京理工大学出版社,2010.
[4] 成大先.机械设计手册:第 1 卷[M].5 版.北京:机械工业出版社,2010.
[5] 孙鑫.VC++ 深入详解[M].北京:电子工业出版社,2012.