

doi: 10.7690/bgzd.2016.02.014

飞机平显综合靶标校靶设备设计

吕俊伟¹, 毕波^{1,2}, 宋庆善²

(1. 海军航空工程学院, 山东 烟台 264001; 2. 中国人民解放军 91213 部队装备部, 山东 烟台 264001)

摘要: 为了克服传统飞机平显校靶误差大、耗时较长且操作繁琐的不足, 提出了不改变飞机姿态, 只需调整姿态靶架平显综合靶标校靶设备的设计方案。对综合靶标校靶设备平显校靶的原理、技术方案进行论证, 确定了综合靶标校靶设备的基本构架和姿态靶架的升降、俯仰、滚转、平移等参数, 研制了原理样机并进行了测试。测试结果表明: 综合靶标校靶设备提高了飞机平显校靶的精度, 简化了飞机平显校靶过程, 节省了人力物力和时间, 其设计完全满足飞机平显校靶的要求。

关键词: 平显; 校靶; 自动化**中图分类号:** TJ06 **文献标志码:** A

Design of Integrated Equipment for Airplane HUD Bore Sighting

LYU Junwei¹, Bi Bo^{1,2}, Song Qingshan²(1. Naval Aeronautical Engineering Academy, Yantai 264001, China;
2. Armament Department, No. 91213 Unit of PLA, Yantai 264001, China)

Abstract: To overcome the disadvantages of traditional airplane HUD bore sighting, such as the big bore sighting error, the long working time and the complicated operation, a design of integrated equipment is proposed for airplane HUD bore sighting. This design only needs to adjust the attitude of target stand, without adjusting the attitude of airplane. After the principle and the technical scheme of the automatic equipment are demonstrated, it is determined that the basic framework of integrated equipment for airplane HUD bore sighting and the parameters of attitude target, such as ascending and descending, pitching, roll, shift, etc. A principle prototype of the integrated equipment is developed and a number of tests are done. The test results show that the integrated equipment can improve the bore sighting precision of airplane HUD bore sighting, simplify the bore sighting process, and also save a lot of manpower material resources and time; the design is enough to meet the requirements of airplane HUD bore sighting.

Keywords: HUD; bore sighting; automatic

0 引言

飞机在使用过程中受各种因素(飞行、维修拆装等)影响, 会引起平显安装架与机上设备间相对位置发生变化, 影响飞行员正确判断飞机状态; 因此, 需要进行平显的校靶。飞机平显校靶是通过校准平显安装架来完成的。传统平显校靶过程中, 首先需要人工调平飞机, 即调整飞机姿态达到横向和纵向水平, 然后对照校靶靶板进行平显校靶。此方法存在以下弊端(特别是当飞机带有燃油的情况下): 1) 调平误差大。因为飞机庞大, 燃油流动, 不易调平, 很难达到高精度的横向和纵向水平。2) 调平过程需要人眼观测水准仪和经纬仪, 对准误差较大, 耗时较长, 操作人员众多, 且对操作人员的要求也高。3) 调平过程中稍有失误, 就有可能损伤飞机^[1-2]。

因此, 针对上述传统平显校靶校准技术的弊端, 笔者提出了一种综合靶标平显校靶设备设计方案, 主要采用光测图像校准技术、激光水平校准技术、

伺服电机控制技术和姿态靶架运动解耦技术, 不改变飞机姿态而只需调整靶标姿态, 解决了人眼观测水准仪和经纬仪对准误差较大, 水准仪和经纬仪调平不便, 以及靶架操控难等问题, 提高了校准的精度, 节省了校准时间, 增强了校准的可靠性。

1 传统飞机平显校靶原理与技术分析

飞机平显校靶的基本原理是: 通过仪器检测出平显轴线与飞机基准线之间的位置误差, 然后调整平显安装架来消除平显轴线与飞机基准线之间的误差, 以达到设计指标要求。目前, 在飞机地面维护工作中, 通常采用的是一种叫水平仪器校靶的方法。该方法是利用地面标准靶标, 结合水平仪和经纬仪等仪器检测出飞机平显轴线与飞机基准线之间的位置误差。这种方法首先需要用千斤顶等工具调平飞机, 并且需要把地面标准靶标放到离飞机平显一定距离处, 并调整到水平姿态, 然后进行校靶。其中, 调平飞机是一项繁琐的工作, 需要投入人力、物力

收稿日期: 2015-10-12; 修回日期: 2015-11-11

基金项目: 军队科研计划项目

作者简介: 吕俊伟(1960—), 男, 山东人, 博士生导师, 教授, 从事光电设备校准、目标探测与跟踪等研究。

和设备。

水平仪器校靶的方法的基本原理是：把飞机坐标系投影到地面标准靶标上，通过地面标准靶标来检测飞机平显轴线与飞机基准线之间的位置误差，并进行校准和修正^[3]。

分析水平仪器校靶原理可得出如下结论，只要满足以下3个条件，就可以进行水平仪器校靶：

1) 靶标坐标系上的水平基准线(x 轴)与飞机构造水平线(x 轴)平行且共面；

2) 靶标坐标系上的对称轴线(z 轴)与飞机的对称轴线(z 轴)平行且共面；

3) 靶标坐标系上的纵轴线(y 轴)与飞机的纵轴线(y 轴)重合。

因为靶标坐标系是一个二维坐标系，在靶标上只能看到靶标坐标系上的水平基准线(x 轴)和靶标坐标系上的对称轴线(z 轴)，而靶标坐标系上的纵轴线(y 轴)在靶标上表现为水平基准线(x 轴)和对称轴线(z 轴)的相交点，或称之为坐标系原点；因此，上述第3个条件实际为靶板坐标系的原点，必须在飞机的纵轴线(y 轴)上。

综上所述，目前水平仪器校靶是通过调平飞机和调正、调平靶标来满足上述3个条件，使飞机坐标系和靶板坐标系一致性对准，然后校准平显轴线与飞机基准线之间的误差，以达到设计指标要求。

2 飞机平显综合靶标校靶设备设计方案

传统地面标准靶标设备由靶架和标准靶板组成，靶板安装在靶架上，靶架是固定不变的。其优点是：靶标设备设计简单、价格便宜。在校靶时，对靶标设备操作较少。

但采用传统靶标设备弊端是：由于其靶架姿态不能改变，进行平显校靶时首先需要调平飞机与地面标准靶标设备对正，然后才能进行校准平显轴线与飞机基准线之间的误差，以达到设计指标要求。而飞机体积大、质量大，精确调平飞机难度大；整个调平过程，需要人工通过水准仪和经纬仪、校靶夹具、激光火控准直仪、千斤顶等工具来调整飞机达到横向水平和纵向水平。这样就导致调平误差大，需要大量的时间和人力^[4-5]。

针对采用传统地面标准靶标设备进行飞机平显校靶的弊端，根据水平仪器校靶基本原理和3个条件，结合对飞机坐标系和靶标坐标系的几何关系模型，采用理论推导，利用光学图像测量技术和运动

控制技术，笔者设计了综合靶标校靶设备进行飞机平显校靶，并构建了相应的平显校靶技术体系。

综合靶标校靶设备与传统靶标设备相比，最大的改进就是将传统靶标设备靶架上的靶板同支撑底座分离，即整个靶标设备的靶架分为姿态靶架和基础靶架2部分，其靶板安装在姿态靶架上，由支撑底座等设备构成基础靶架。这样整个靶板平面就可以基础靶架为支撑点随姿态靶架进行姿态变换(即升降、俯仰和旋转)，从而使传统校靶过程中调整飞机和靶架水平这项工作转变为保持飞机不动而只调整综合靶标校靶设备的姿态靶架即可。

2.1 设备组成结构

通过广泛调研论证，笔者所设计的平显综合靶标校靶设备主要由1台带长焦镜头的摄像机及显示器、标准靶板、用于调整靶面姿态的姿态靶架、姿态靶架运动控制模块和起支撑作用的基础靶架组成，如图1所示。

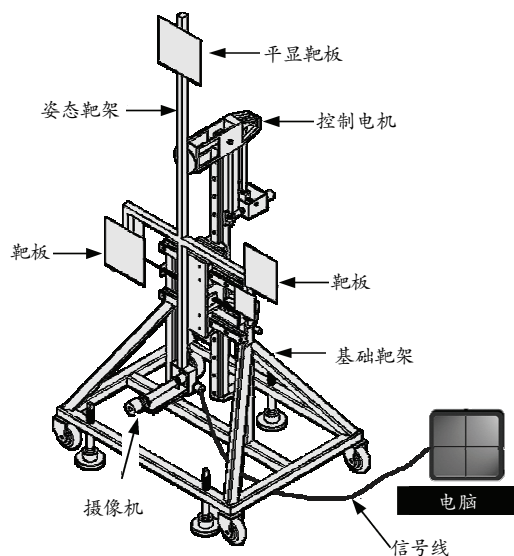


图1 平显综合靶标校靶设备示意图

1) 标准靶板。

标准靶板均为矩形靶板，靶板的数量、图案和各靶板之间的相对位置，严格按每种飞机的校靶图安装在姿态靶架上。

2) 姿态靶架运动控制模块。

姿态靶架运动控制模块可以实现姿态靶架的四自由度运动，主要由控制单元和4个控制电机组成。该控制系统能够驱动电机来调整姿态靶架靶板平面对正飞机停放姿态，包括控制姿态靶架靶板平面顺时针旋转(调滚转对正)、前后俯仰(调俯仰对正)、左右平移和上下升降的功能。

3) 基础靶架。

基础靶架用于支撑整个姿态靶架，确保姿态靶架靶板平面的稳定牢靠，如图 1 所示。

4) 摄像机及显示器。

装有望远镜头的摄像机位于姿态靶架基准靶板十字线正下方的水平转台上，其光轴垂直于姿态靶架靶板平面。该光学系统用于获取靶尺上的基准线位置信息，并将其显示在屏幕上，供操作员通过屏幕上的十字线进行比对，然后通过姿态靶架运动控制模块根据显示的偏差修正综合靶标姿态，直至实现对正。当显示器上显示的靶尺黑白界线与显示器屏幕十字线重合时，则在该方向上综合靶标已对正飞机；若不重合，则根据实际情况调整姿态靶架姿态，直至靶尺黑白界线与显示器十字线重合。

姿态靶架需要作平移、升降、俯仰和滚转运动，这些运动相互耦合、相互干涉，只有将 4 个方向运动的交点汇聚到一点，才能实现运动的解耦，从而实现操控方式的解耦。而陀螺框架结构恰好能够满足这一要求；因此，笔者采用了具有陀螺框架结构的万向节实现姿态靶架的解耦运动。下面重点介绍综合靶标校靶设备技术方案^[6]。

2.2 综合靶标校靶设备技术方案

1) 滚转机构方案。

滚转机构由伺服电机、滚转轴和锁紧机构组成。在控制靶板平面滚转时，伺服电机直接对滚转轴施加扭转力矩，使整个靶板平面绕着滚转轴进行旋转。靶板平面的滚转范围确定过程如下。

在图 2 中， AB 为飞机水平轴线，点 D 和点 E 分别为某一水平高度上的两点， AC 垂直于 BE ， AD 、 BE 和 AC 可以通过实地测量得到，则有：

$$BC = BE - AD; \tag{1}$$

$$\tan \alpha = \frac{BC}{AC} \tag{2}$$

故飞机的水平偏角为

$$\alpha = \arctan \frac{BC}{AC} \tag{3}$$



图 2 飞机滚转角测量示意图

2) 俯仰机构方案。

俯仰机构由伺服电机、推拉杆、俯仰轴和锁紧机构组成。在控制靶板平面俯仰时，操作人员拨动电机开关，控制电机向推拉杆输出力矩推拉俯仰轴，从而带动整个靶板平面进行俯仰。靶板平面的俯仰范围确定过程如下。

在图 3 中， AB 为飞机纵轴线，点 D 和点 E 分别为某一水平高度上的两点， AC 垂直于 BE ， AD 、 BE 、 AC 和 CN 可以通过实地测量得到，则：

$$BC = BE - AD; \tag{4}$$

$$\tan \alpha = \frac{BC}{AC} \tag{5}$$

故飞机的俯仰角为

$$\alpha = \arctan \frac{BC}{AC} \tag{6}$$

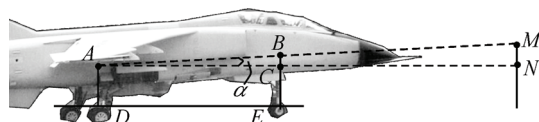


图 3 飞机俯仰角测量示意图

3) 升降机构方案。

升降机构由滚珠丝杠、升降杆和锁紧机构组成。在调整姿态靶架靶板平面升降时，操作人员转动升降手轮，控制滚珠丝杠带动升降杆向上或向下运动，从而使整个靶板平面上升或下降。靶板平面的升降范围确定过程如下。由图 3 可知：

$$BC = BE - AD; \tag{7}$$

$$\tan \alpha = \frac{BC}{AC} \tag{8}$$

$$AN = AC + CN \tag{9}$$

故 $MN = \tan \alpha \times AN$ (MN 即为靶板上升的高度)。

4) 相机光学参数方案。

透镜成像光学原理如图 4 所示。

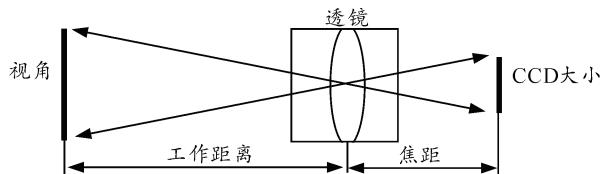


图 4 透镜成像光学原理示意图

工作距离和视场大小由焦距和 CCD 大小来决定，可套用以下比例表达式获得：

$$\text{工作距离} : \text{视角} = \text{焦距} : \text{CCD 大小}$$

根据下列公式，则可计算出所需的镜头焦距为

$$f = \frac{WD \times \text{CCD 大小}}{FOV} = \frac{25\,000 \times 6.4}{500} = 320 \text{ mm} \tag{10}$$

其中： WD 是物距； FOV 是视野范围。

3 原理样机的研制及测试

由于受工厂加工条件、经费使用等限制，综合靶标校靶设备样机在总体按照设计方案实施加工的基础上，进行了一定程度的调整。

靶架主体采用 Q235A 钢板框架焊接结构，以保证其强度要求。靶架整体加工采用固定焊接平台将靶架各部件进行固定，然后进行分步焊接，以保证其位置精度、平行度和垂直度。

靶架靶板采用一整块钢板，通过采用三坐标数控精密激光切割设备，按照靶板 CAD 图样进行整体切割，将整张钢板按照设计图纸切割为 5 块标准靶板，从而保证靶架和靶面的平行度。

姿态靶架的俯仰和滚转由一个两自由度的万向节实现，如图 5 所示。



图 5 两自由度万向节

姿态靶架的升降和平移分别由横向丝杠和纵向丝杠实现，如图 6、图 7 所示。

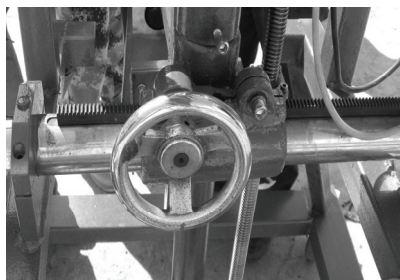


图 6 姿态靶架横向移动机构



图 7 姿态靶架纵向移动机构

姿态靶架运动控制模块选用的是交流伺服电动机，如图 8 所示。该类型电动机坚固耐用、体积小、质量轻、动态响应性能好，与电机同轴装有光电编码器，用于运行速度、位置的反馈。

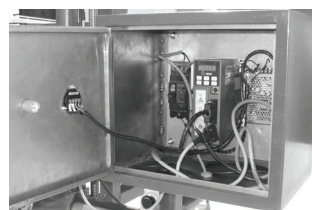


图 8 姿态靶架运动控制模块

为了验证综合靶标校靶设备样机对飞机平显校靶的效果，采用某型模拟训练用飞机的平显对其进行测试。测试过程完全按飞机平显军械校靶规程进行。每次测试分别计算综合靶标校靶设备的相对偏差(相对偏差是指靶板中心到飞机平显备用环十字线中心的距离与靶板误差圆半径的比值)，记录每次测试完成校靶工作的时间和需要的人力数量，并将测试结果同传统校靶数据进行比较，见表 1。

表 1 测试结果

| 测试名称 | 传统校靶设备 | | | 综合靶标校靶设备 | | |
|------|--------|----|------|----------|----|------|
| | 相对偏差 | 人力 | 耗时/h | 相对偏差 | 人力 | 耗时/h |
| 1 | 0.30 | 10 | 3 | 0.25 | 3 | 1.5 |
| 2 | 0.52 | 10 | 3 | 0.41 | 3 | 1.5 |
| 3 | 0.43 | 10 | 3 | 0.31 | 3 | 1.5 |
| 4 | 0.45 | 10 | 3 | 0.29 | 3 | 1.5 |
| 5 | 0.38 | 10 | 3 | 0.28 | 3 | 1.5 |

可以看出：飞机平显综合靶标校靶设备的测试结果，其校靶精度优于传统校靶设备，完全能够满足飞机平显军械校靶的精度要求，每次校靶时间平均节省了 50%，人力平均减少了 70%。

4 结论

笔者提出的飞机平显综合靶标校靶设备设计方案，能够满足飞机平显军械校靶精度要求，自动化程度高，可操作性更强，能够节约大量的人力物力和校靶时间，具有较大的应用价值。可以应用到多种军用飞机和民用飞机的平显校靶上。

参考文献：

- [1] 赵思宏, 高晓龙, 贾秋锐. 某型飞机火控校靶仪的研究与设计[J]. 光学精密工程, 2003, 11(6): 581-584.
- [2] 何景峰, 周志刚, 杨满忠. 某型外场用平视显示器视准仪校靶原理[J]. 火力与指挥控制, 2001, 27(增刊): 40-41.
- [3] 刘中新, 付怀庆, 张丹. 一种校靶管座及校靶装置[P]. 中国: CN201803645U, 2011.04. www.cnki.net:41-49.
- [4] 李洋, 桑龙. 浅谈飞机总装自动化装配生产线[J]. 装备制造技术, 2011(10): 132-134.
- [5] 潘焕友, 贾红光, 李明哲. 歼击机校靶精度计算和分析[R]. 第二十二届(2006)全国直升机年会.
- [6] 赵孔新, 庞政. 一种无线数字报靶手持仪的设计方案[J]. 电子设计应用, 2009(8): 65-66.