

基于无失效数据的飞行训练导弹 弹上设备可靠性分析*

诸德放¹, 方 辉², 张立海³

(1 徐州空军学院, 江苏徐州 221000; 2 94938 部队, 南京 210018;
3 驻 624 厂军事代表室, 哈尔滨 150030)

摘要:根据 A 型空地导弹飞行训练弹在使用过程中获得的使用数据, 假设弹上设备模拟器和导引头的寿命分别服从指数分布和正态分布, 采用无失效数据的处理方法分别评估了模拟器和导引头的可靠性水平, 为训练弹上设备的维修和定寿提供重要依据。

关键词:训练导弹; 无失效数据; 可靠性

中图分类号: TJ765.43; TB114.3 **文献标志码:** A

The Reliability Analysis of Onboard Device of Flight Training Missile Based on Zero-failure Data

ZHU Defang¹, FANG Hui², ZHANG Lihai³

(1 Xuzhou Air Force College, Jiangsu Xuzhou 221000, China; 2 No. 94938 Unit, Nanjing 210018, China;
3 Military Representative Office in No. 624 Factory, Harbin 150030, China)

Abstract: Based on the zero-failure data received during the supervisory and control progress of a flight training missile, supposing the life span distributions of the simulation facility and the seeker are Index distribution and normal distribution respectively, the reliability evaluation is made for them, which is necessary for maintenance and setting down service life.

Keywords: training missile; zero-failure data; reliability

0 引言

A 型空地导弹飞行训练弹于近年装备部队, 是 A 型空地导弹的飞行训练弹。由生产单位初步拟定的挂飞使用寿命是参照相似型号训练弹使用情况制定的, 并未进行全环境的寿命试验。从部队实际使用情况看, 该挂飞次数满足了可靠性要求, 但也可能存在比较大的剩余寿命。因此在达到初步拟定的挂飞次数后, 部队在保证挂飞安全前提下采用监控使用的方法继续进行挂飞训练。监控使用发掘了该型训练弹的使用寿命, 提高了效费比, 同时监控使用过程中获得的挂飞数据也是分析训练弹可靠性水平的宝贵依据。A 型训练弹采用模块化设计, 弹上设备主要包括导引头和导弹模拟器两大部分。它们失效机理和寿命分布函数均不相同, 需要分别加以分析。使用过程中弹上设备未出现不可修复故障, 需采用无失效数据的处理方法分析其可靠性水平。

1 模拟器可靠性分析

导弹模拟器是由多块集成电路板和弹载计算机组成的电子系统。大量的历史统计数据表明, 大部分的电子设备的通电时间寿命均服从指数分布^[1]。因此这里将导弹模拟器的通电寿命的分布当作指数分布处理, 即:

$$f(t) = \lambda \exp(-\lambda t), t > 0, 0 < \lambda < +\infty \quad (1)$$

式中 λ 为失效率。

在使用过程中导弹模拟器均未出现故障, 因此对于模拟器而言所有挂飞数据属于无失效数据。在无失效数据的情形下, 失效率 λ 不会很大, 若能根据先验信息或专家给出 λ 的一个比较保守的上限 λ_0 (即 $0 < \lambda < \lambda_0$, 其中 $0 < \lambda_0 < +\infty$), 则可以有效的提高产品可靠性预测精度。如果只知道 $0 < \lambda < \lambda_0$, 而其它一无所知, 不妨取 $(0, \lambda_0)$ 上的均匀分布作为 λ 的先验分布, 其概率密度函数为: $\pi(\lambda) = 1/\lambda_0$, 其中 $0 < \lambda < \lambda_0$ 。

* 收稿日期: 2010-02-28

作者简介: 诸德放(1962-), 男, 江苏高淳人, 副教授, 硕士, 研究方向: 武器系统与运用工程。

对寿命服从指数分布的产品进行 n 次定时截尾试验,每次试验截尾时间为 $t_i(i = 1, 2, \dots, n), t_1 < t_2 < \dots < t_n$,与之相对应的样品数为 $m_i(i = 1, 2, \dots, n)$,结果所有样品无一失效,获得的无失效数据为 $(t_i, m_i), i = 1, 2, \dots, n$ 。若 λ 的先验概率密度为 $\pi(\lambda) = 1/\lambda_0$,则 λ 的置信水平为 $1 - \alpha$ 的 Bayes 置信上限估计^[2]为:

$$\lambda_U = \frac{-\ln[\alpha + (1 - \alpha)\exp(-\sum_{i=1}^n m_i t_i \lambda_0)]}{\sum_{i=1}^n m_i t_i} \quad (2)$$

在监控使用的条件下,导弹模拟器均未出现不可修复故障。因此对于模拟器而言,该监控使用过程属于无失效样品的定时截尾寿命试验。试验次数 $n = 10$,每次试验的样品个数为 1,试验的截尾时间即模拟器的通电时间(单位:h)如下:

$t_1 = 467, t_2 = 547, t_3 = 567, t_4 = 662, t_5 = 710,$
 $t_6 = 802, t_7 = 857, t_8 = 895, t_9 = 922, t_{10} = 1027$

采用式(2)估计模拟器的可靠性水平,首先要估计出失效率 λ 的上限 λ_0 。A 型空地导弹飞行训练弹生产研制单位给出的可靠性指标为:无故障完成 100 次挂飞任务的概率不小于 0.95。模拟器在此期间内的通电总时间 $T \approx 250\text{h}$,则模拟器在 T 时刻最低的可靠度 $R(T) = 0.95$,即 $\exp(-250\lambda_0) = 0.95, \lambda_0 = 2.05 \times 10^{-4}/\text{h}$ 。

在 $1 - \alpha = 1 - 0.1 = 0.9$ 置信水平下,根据式(2)求得 $\lambda_U = 1.63 \times 10^{-4}$ 。则训练弹模拟器的可靠度下限为 $R(t) = \exp(-\lambda_U t) = \exp(-1.63 \times 10^{-4} t)$,将模拟器的可靠度下限随通电时间的变化趋势列于图 1。

由图 1 可知,模拟器的可靠性水平是很高的,当通电时间小于 200h 时,其可靠度下限可以达到 0.95 以上,这与实际挂飞训练使用中未出现模拟器不可修复故障情况是相符的。

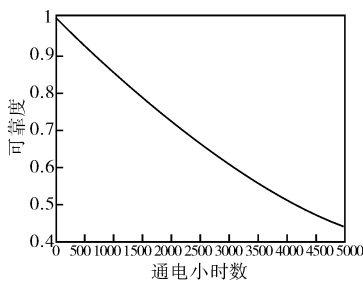


图 1 模拟器可靠度

2 导引头可靠性评估

A 型空地导弹飞行训练弹的导引头由多个部件有机组合而成,主要包括摄像头、稳定平台、光电转换器、辅助电路。部件之间的连接比较复杂,无论哪个元件出现故障都会导致导引头故障。根据中心极限定理可知,一个随机变量如果是大量相互独立的偶然因素之和,且每个因素的个别影响在总的影响中所起的作用都很小,那么这个随机变量就会服从或近似服从正

态分布^[3]。

由于导引头的可靠性鲜有历史数据可以参考且其结构比较复杂,这里认为其寿命分布服从正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 。在监控使用过程中,导引头均未出现不可修复故障,故其可靠性分析属于无失效数据可靠性问题。

设 x_1, \dots, x_n 是来自正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 的一组无失效数据,当 $x \leq \bar{x}$ 时对于给定的寿命 x ,可靠度 R 的置信度为 $1 - \alpha$ 的单侧置信下限^[4]为:

$$R_L^* = \Phi\left(u_{R_0} + \frac{\bar{x} - x}{\sigma_0}\right) \quad (3)$$

其中 $u_R = \Phi^{-1}(R), \sigma \leq \sigma_0, R_0 = \alpha^{\frac{1}{n}}$ 。

在监控使用的条件下,10 枚训练弹导引头均未出现故障,挂飞次数为:

$x_1 = 185, x_2 = 217, x_3 = 225, x_4 = 263, x_5 = 282,$
 $x_6 = 319, x_7 = 341, x_8 = 356, x_9 = 367, x_{10} = 409$

当 $\sigma_0 = 102$ ^[5]时,由式(3)求得导引头可靠度的下限,并绘于图 2。

由图 2 可以看出,模拟器的可靠性水平是很高的,当挂飞次数小于 170 次时,其可靠度下限可以达到 0.98 以上,这与实际挂飞训

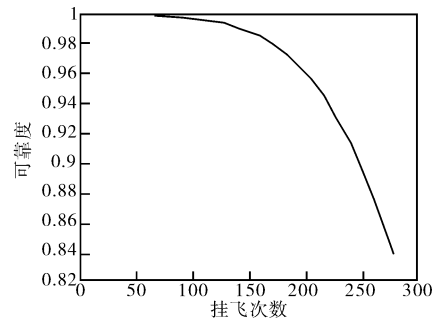


图 2 导引头可靠度的下限

练使用中导引头未出现不可修复故障情况是相符的。

3 结论

根据监控使用条件下获得的训练弹挂飞次数,模拟器及导引头在使用过程中均未出现故障的情况,采用无失效数据可靠性评估方法分析了训练弹模拟器和导引头在挂飞使用过程中的可靠性水平,其结果为模拟器和导引头的维修和定寿提供了重要依据。

参考文献:

- [1] 中国人民解放军总装备部. 试验数据的统计分析[M]. 北京:国防工业出版社,2002.
- [2] 韩明. 基于无失效数据的可靠性参数估计[M]. 北京:中国统计出版社,2005.
- [3] 陈魁. 应用概率统计[M]. 北京:清华大学出版社,2000.
- [4] 傅惠民,王凭慧. 无失效数据可靠性评估和寿命预测[J]. 机械强度,2004,26(3):260-264.
- [5] 张真. 某型空地导弹飞行训练弹延寿研究[D]. 徐州:徐州空军学院,2009.

某型雷达电视跟踪测量系统及精度分析*

柳琦, 赵静

(中国飞行试验研究院测试所, 西安 710089)

摘要:雷达对目标进行近距离、高精度实时轨迹测量时, 雷达的跟踪精度受地面杂物、角闪烁等因素影响较大, 测量精度无法得到保证。文中介绍了某型雷达电视跟踪测量系统, 该系统在近距离跟踪状态下使用电视跟踪, 可提高跟踪精度。文中对系统的测量精度进行了分析。

关键词:精密测量雷达; 雷达测量; 电视跟踪; 测量精度

中图分类号: TN953 文献标志码: A

A Radar TV Tracking Measurement System and Accuracy Analysis

LIU Qi, ZHAO Jing

(Department of Test, China Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: When radar measures the target for high accuracy trajectory, the radar's tracking accuracy can be affected by the ground object and angle glint. So the measurement accuracy can not be ensured. Based on the principle, a certain radar TV tracking measurement system was proposed in the paper. The tracking accuracy was improved in this system by using TV tracking in the state of short-range tracking, and the measurement accuracy of system was analyzed in this paper.

Keywords: accuracy measurement radar; radar measurement; TV tracking; measurement accuracy

0 引言

某型精密测量雷达是一部单脉冲体制全数字化测量雷达。雷达执行近距离、高精度实时轨迹测量任务时, 被测目标不同部位的散射强度和相对相位的随机变化形成的闪烁噪声以及地面杂物对雷达跟踪精度有严重影响。标准的卡尔曼滤波器在非高斯噪声环境下消除闪烁噪声性能不良^[1]。

电视跟踪系统是一种图像跟踪装置, 它能在比较复杂的背景下, 对分离视场内的运动目标实现自动跟踪。文中针对雷达在近距离跟踪状态下测量精度低的特点, 用电视跟踪代替雷达跟踪, 测量近距离目标, 避免了闪烁噪声给测量系统带来的误差。

1 测量系统概述

雷达电视跟踪测量系统工作流程为: 当被测目标进入电视跟踪范围且雷达跟踪精度受闪烁噪声影响严重时, 切换到电视跟踪, 系统运行状态为: 角度跟踪、雷达测距。在远距离跟踪时, 使用雷达进行跟踪测量。

测量系统采用彩色高灵敏度 CCD 摄像机采集目标视频数据, CCD 摄像机安装于雷达天线上, 安装时应保持跟踪电视轴与雷达电轴平行。系统框图如图 1 所示。

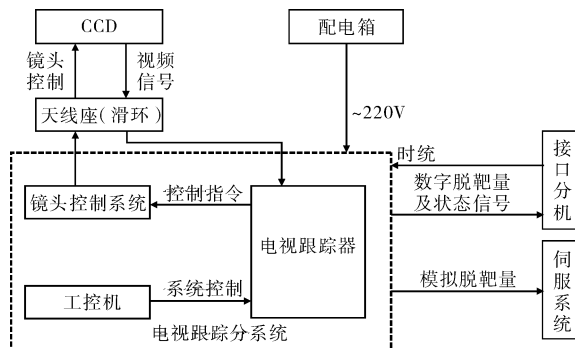


图 1 测量系统框图

图中, CCD 摄像机对被测目标的运动图像进行实时拍摄, 图像信息通过雷达天线座(滑环)传送到电视跟踪器。电视跟踪器系统处理目标数据获得误差信号。镜头控制系统具有焦距调节、聚焦、跟踪电视轴与雷达电轴校准功能。工控机具有系统控制功能, 工作人员可通过主控软件监测运动目标、调节焦距、选择跟踪算法。电视跟踪分系统接收雷达接口分机

* 收稿日期: 2010-07-19

作者简介: 柳琦(1979-), 男, 陕西绥德人, 助理工程师, 硕士, 研究方向: 雷达电子测量。

的时统信号,输出数字脱靶量及状态信号至接口分机,输出模拟脱靶量至伺服系统。伺服系统驱动雷达天线对目标进行实时跟踪测量。

2 电视跟踪系统

电视跟踪系统组成如图 2 所示,包括:CCD 摄像机、A/D 变换模块、图像滤波、背景统计模块、目标提取、自动捕获模块、视频字符叠加电路、DSP、显示终端^[2]。CCD 摄像机采集图像数据。A/D 变换模块具有图像采集及数字化功能,图像滤波、背景统计模块完成图像预处理与分割,目标提取、自动捕获模块完成各种跟踪算法的运算,视频字符叠加电路完成锁相环、时序生成、窗口生成、字符生成功能,DSP 计算目标运动参数、获取误差信号,显示终端显示目标视频。

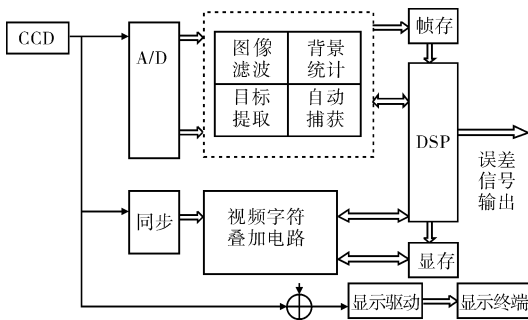


图 2 电视跟踪系统框图

电视跟踪采用两种跟踪模式以适应不同的目标、背景以及精度要求,算法包括二值质心跟踪、相关跟踪算法。DSP 计算输出目标的脱靶量、目标几何特性等。

3 测量精度分析

影响某型雷达电视跟踪测量系统测量精度的误差有:雷达伺服系统误差、两轴不正交误差、光学码盘的量化误差、电视脱靶量静态误差^[3]。某型雷达伺服系统误差为 $10''$ 、两轴不正交误差为 $5''$ 、光学码盘的量化误差 $10''$ 。文中对电视脱靶量静态误差的分析主要考虑以下因素:CCD 传感器误差、测角分辨率误差、脱靶量读出误差、光学镜头畸变误差、镜头不平行度及刚性变形误差等。

当焦距 $f=300\text{mm}$ 时,电视脱靶量静态误差分析如下:CCD 传感器误差包括量化误差、细分误差、托尾误差、焦距误差,本系统采用的 CCD 传感器误差 $\sigma_1=2''$; CCD 靶面为 $1/2\text{in}$,测角分辨率为 $10.67''$,测角分辨率误差 $\sigma_2=3.08''$;脱靶量读出量化误差为均匀分布的随机误差, $\sigma_3=1.82''$;光学畸变误差设计为全靶面的千分之一,服从高斯分布, $\sigma_4=2.37''$;镜头不平行度及刚度变形误差与镜头重量、材料及安装方式有关,本系统中 $\sigma_5=2.73''$ 。电视脱靶量总静态误差为:

$$\sigma_5 = (\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2)^{1/2} = 5.47'' \quad (1)$$

雷达电视跟踪测量系统总均方误差 $\sigma_{\text{总}} = 15.97''$ 。

4 测试系统应用

以某型飞机为被测目标,近距离测量距离样本取 $1\sim 2\text{km}$ 之间。使用某型雷达跟踪系统测量时,目标闪烁误差为 $1.2^\circ\sim 1.5^\circ$,不能进行正常跟踪测量。使用雷达电视跟踪系统测量时,系统误差可控制在 $20''$ 以下,目标跟踪稳定,可满足目标的跟踪测试需求。

5 结语

文中通过分析精密测量雷达电视跟踪测量系统的测量精度,表明该系统满足工程应用需求,解决了某型雷达对近距离目标高精度实时轨迹的测量问题。同时,系统可提供飞行目标的实时图像信息,方便对飞行目标进行直观指挥引导,对飞行过程进行分析评估。

参考文献:

[1] 邓晓波,皮亦鸣,曹正林. 闪烁噪声环境下的机载雷达对海跟踪研究[J]. 现代雷达,2008,30(2):29-32.
 [2] 姚智刚,付强. 基于 DSP 和 FPGA 的跟踪系统设计[J]. 电子工程师,2006,32(12):40-42.
 [3] 冯小荣,张建新,樊秋林. 跟踪系统误差分析[J]. 光电技术应用,2006,21(3):14-16.