

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.08.005

某型飞行训练弹导引头可靠性分析

曲晓燕¹, 张真²

(1. 海军航空工程学院兵器科学与技术系, 山东 烟台 264001;
2. 海军航空工程学院研究生管理大队, 山东 烟台 264001)

摘要: 在保证一定可靠度的前提下, 为充分挖掘某型飞行训练弹导引头的使用寿命, 针对其导引头无失效数据的情况, 对其可靠性进行分析。采用无失效数据产品可靠性分析方法, 结合该型训练弹部分可靠性参数, 分析某型飞行训练弹导引头的实际可靠性水平, 求得了一定置信水平下导引头的挂飞可靠度下限。该研究可为优化该型训练弹挂飞寿命提供一定的依据。

关键词: 飞行训练弹; 导引头; 无失效数据; 可靠度

中图分类号: TJ760.6⁺23 **文献标志码:** A

Seeker's Reliability Analysis of Certain Type Flight Training Missile

Qu Xiaoyan¹, Zhang Zhen²

(1. Dept. of Ordnance Science & Technology, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China;
2. Administrant Brigade of Postgraduate, Naval Aeronautical & Astronautical University, Yantai 264001, China)

Abstract: On the condition of reliability full is guaranteed, in order to enough digging its use life of certain type flight training missile, analysis its reliability aiming at this situation of zero-failure data. Using the analysis method of zero-failure data product reliability, combine dummy projectile parameter, analysis fact level of certain type flight training missile seeker, get the hang fly reliability lower limit under confidence level. The study can provide reference in optimize the flight life span.

Keywords: flight training missile; seekers; zero-failure data; reliability

0 引言

某型飞行训练弹主要用于飞行员熟悉该型武器系统工作流程、满载状态下飞机的操稳性和外场勤务等训练。训练弹是多次性使用产品, 在使用过程中若出现故障, 可进行回收、检测和修理。目前, 机载制导弹药训练弹均采用整弹定寿, 当训练弹各组成部分的可靠性水平有较大差异时, 这种定寿方法显然不够合理。对于各个舱段采用模块化设计的训练弹而言, 可以采取更换接近使用寿命舱段的方法提高整弹的利用率, 但必须准确掌握各个舱段的可靠性水平, 合理估计其使用寿命。

在某型飞行训练弹的寿命研究过程中, 通过采取一系列的安全措施, 使得该训练弹的挂飞次数远高于生产厂方规定的挂飞次数, 并且在使用过程中导引头均未出现故障。因此在该寿命研究过程中, 基于导引头挂飞次数的可靠性分析, 属于无失效数据的产品可靠性分析。为了准确地估计该型导引头可靠性水平, 首先要合理地假设其寿命分布, 然后估计分布中的各个参数, 进而采用相应的无失效数据处理方法分析其可靠性。

1 寿命分布参数的确定

某型飞行训练弹的电视导引头主要包括电视摄像头、稳定平台、光电转换器和辅助电路等。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^[1]。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, 即 $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 。

已知在某型飞行训练弹的寿命研究过程中, 共有 n 个导引头样品, 它们的挂飞次数分别为 x_1, x_2, \dots, x_n , 并且所有导引头均未出现故障, 即 x_i 属于无失效数据。这里导引头的平均使用寿命 μ 应该包括 2 部分: 一部分是已经达到的挂飞次数的均值 \bar{x} ; 另一部分是平均剩余的挂飞次数 e 。

平均剩余寿命的定义为: 设产品寿命为 X , 则

收稿日期: 2011-04-29; 修回日期: 2011-06-17

作者简介: 曲晓燕(1975—), 女, 山东人, 工学硕士, 讲师, 从事航空导弹保障与作战运用研究。

在 $X > t$ 条件下 $X-t$ 的期望 $e = E(X-t|X > t)$ ，叫作平均剩余寿命。

因此可以认为 $\hat{\mu} = \bar{x} + \tilde{e}$ ，其中 $\hat{\mu}$ 为平均使用寿命的估计值， $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ ， \tilde{e} 为平均剩余挂飞次数的估计值。

当 X 的分布函数 $F(x)$ 已知时，平均剩余寿命 $e = E(X-t|X > t)$ 的真实值可以采用条件概率计算得

到， $E(X-t|X > t) = \frac{\int_t^{\infty} (x-t)f(x)dx}{p(X > t)}$ 。这里因为正态分

布 $N(\mu, \sigma^2)$ 中的参数 μ, σ^2 未知，所以无法求得 e 的真实值，只能设法求得平均剩余挂飞次数较好的估计值 \tilde{e} 。

当 X 的分布函数 $f(x)$ 未知时，对于无失效数据的样本，可采用如下方法来估计平均剩余寿命^[2]。考察 n 个个体，这些个体的寿命分别已经达到 x_1, x_2, \dots, x_n 且均未失效，它们是相互独立、具有相同分布的随机变量。分别在一系列时刻 $a_0 = 0 < a_1 < a_2 < \dots < a_m$ 观察其寿命。令 $a_{m+1} = \infty$ ， $I_k = (a_k, a_{k+1}]$ 其中 $k = 0, 1, \dots, m$ 。考虑等距分组，即每组区间的长度都为 $h = a_{k+1} - a_k$ 。一般情况下，不能观察到各个个体寿命的确切值，而只能观测到下列数据： l_1, l_2, \dots, l_m ，这里 l_k 是 n 个个体中寿命超过 a_k 的个数。 $e = E(X-t|X > t)$ 的估计值可由下式给出：

$$\tilde{e}_k = \frac{h}{8l_k} \sum_{j=k}^{m-1} (5l_j + 5l_{j+1} - l_{j-1} - l_{j+2}), (k = 1, 2, \dots, m-1)$$

当观测个体的数目 n 充分大、分组区间的长度 h 足够小时估计值 \tilde{e}_k 与真值 e_k 可以任意接近。

当 $k = \bar{x}$ 时，有 $\tilde{e}_k = \tilde{e}_{\bar{x}} = \tilde{e}$ 。至此可以得出正态分布中期望的估计值 $\hat{\mu} = \bar{x} + \tilde{e}$ 。

在某型飞行训练弹寿命研究过程中，导引头均未出现故障，属于无失效数据的样本，很难直接估计出导引头挂飞寿命的方差 σ^2 。在实际分析过程中，可以结合一些设计指标，通过样本值估计出导引头挂飞寿命标准差 σ 的上限。

某型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

95%。挂飞过程中，即使训练弹上其它部件的可靠度为 100%，导引头挂飞到 100 次的可靠度 $R(100)$ 也应不小于 0.95。取其最低可靠度 $R(100) = 0.95$ ，故 $u_R = u_{0.05}$ (u_α 为标准正态分布的下分位数)。设正态分布方差的估计值为 $\hat{\sigma}$ ，由正态分布的对称性可得：

$$\hat{\mu} - 100 = (u_{0.5} - u_R)\hat{\sigma} = (u_{0.95} - u_{0.5})\hat{\sigma} \quad (1)$$

解得 $\hat{\sigma}$ 。实际上训练弹其它舱段无故障挂飞 100 次的可靠度不可能达到 100%，所以导引头无故障挂飞 100 次的可靠度 $R(100) > 0.95$ ，即 $u_R < u_{0.05}$ 。因此有：

$$\hat{\mu} - 100 = (u_{0.5} - u_R)\sigma > (u_{0.95} - u_{0.5})\sigma \quad (2)$$

由式 (1) 和式 (2)，可知有 $(u_{0.95} - u_{0.5})\hat{\sigma} > (u_{0.95} - u_{0.5})\sigma$ 成立，所以有 $\sigma < \hat{\sigma}$ 。令 $\sigma_0 = \frac{\hat{\mu} - 100}{u_{0.95} - u_{0.5}}$ ，则满足 $\sigma \leq \sigma_0$ ，即 σ_0 为导引头寿命正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 标准差的上限。

至此已求得正态分布 $N(\mu, \sigma^2)$ 中期望值的估计量 $\hat{\mu}$ 和标准差的上限 σ_0 。当寿命分布服从正态分布时，在无失效数据处理中，根据 $\hat{\mu}$ 和 σ_0 可以较容易地求出可靠度 R 的置信度为 $1 - \alpha$ 的单侧置信下限，其具体做法如下：

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^[3]为

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

其中： Φ 为标准正态分布的分布函数， $u_R = \Phi^{-1}(R)$ ， $\sigma \leq \sigma_0$ ， $R_0 = \alpha^{\frac{1}{n}}$

2 实例分析

在某型飞行训练弹实际的寿命研究过程中，得到 10 枚训练弹导引头无故障挂飞次数如下：

- $x_1 = 154, x_2 = 168, x_3 = 173, x_4 = 175, x_5 = 187,$
 $x_6 = 196, x_7 = 219, x_8 = 232, x_9 = 241, x_{10} = 265$