

doi: 10.7690/bgzdh.2025.11.008

张开式尾翼破甲弹翼片张开可靠性计算与分析

王 涛¹, 赵丽俊^{1,2}, 李晓婕², 黄晓杰²

(1. 沈阳理工大学装备工程学院, 沈阳 110159; 2. 北方华安工业集团有限公司, 黑龙江 齐齐哈尔 161046)

摘要: 针对某型张开式尾翼破甲弹在发射和勤务处理过程中自锁箍的可靠性是否满足使用要求的问题, 提出对张开式尾翼破甲弹翼片可靠性进行计算与分析。对某型张开式尾翼破甲弹翼片的张开可靠性和翼片收拢可靠性进行计算、分析和试验验证。计算和试验结果表明, 该型破甲弹在发射过程中自锁箍能够在出炮口后可靠解锁、膛内和勤务处理时自锁箍能够可靠收拢。

关键词: 弹药工程; 尾翼; 受力分析; 可靠性

中图分类号: TJ413+.2 **文献标志码:** A

Calculation and Analysis of Wing Expansion Reliability of
Armor-Piercing Projectiles with Expandable FinWang Tao¹, Zhao Lijun^{1,2}, Li Xiaojie², Huang Xiaojie²

(1. School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China;

2. Hua'an Industrial Group Co., Ltd., Qiqihar 161046, China)

Abstract: In view of whether the reliability of the self-locking hoop of a certain type of armor-piercing projectile with retractable tail can meet the requirements of use in the process of launching and service handling, this paper puts forward the calculation and analysis of the reliability of the wing of the armor-piercing projectile with retractable tail. The expansion reliability and the folding reliability of the wings of a certain type of armor-piercing projectile with expandable fins are calculated, analyzed and verified by experiments. The calculation and the test results show that the self-locking hoop can be reliably unlocked after the muzzle during the firing process, and the self-locking hoop can be reliably retracted in the chamber and service handling.

Keywords: ammunition engineering; empennage; force analysis; reliability

0 引言

直瞄武器破甲弹的飞行稳定性通常是靠尾翼结构来保证的, 而张开式尾翼破甲弹的飞行稳定性是通过弹丸在出炮口一段距离内翼片可靠张开来保证的, 且弹丸在膛内运动时保证翼片可靠收拢, 不应发生翼片张开现象, 以免影响弹丸在膛内的正常运动和射击安全性; 同时, 张开式尾翼破甲弹在部队的勤务处理过程中, 尾翼翼片必须处于可靠的收拢状态, 以免翼片张开弹丸不能进行装填和射击使用。笔者对某型张开式尾翼破甲弹锁定翼片的自锁箍锁定可靠性和解锁可靠性进行了计算、分析和试验验证, 验证自锁箍结构设计是否合理、可靠, 为该型破甲弹在发射和勤务处理过程中自锁箍的可靠性是否满足使用要求提供了依据。

1 尾翼组成及工作原理

某型尾翼破甲弹采用张开式尾翼稳定结构, 尾翼由尾杆、翼片(6个)、自锁箍和销轴组成, 6个翼

片沿尾杆座底部圆周每 60°设置一个翼片, 翼片的一端采用销轴与尾杆座联接, 保证翼片张开时以销轴为中心旋转, 6个翼片通过自锁箍与尾杆联接, 而自锁箍通过其上的卯点与尾杆上的铆窝相配合对翼片锁死, 尾翼组成如图 1 所示。

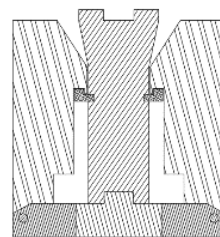


图 1 尾翼组成

弹丸在勤务处理过程和膛内运动过程中, 翼片处于收拢状态。自锁箍在发射过程能否在特定的弹道环境条件下可靠解除对翼片锁定的问题, 是弹丸能否实现稳定飞行基本条件, 弹丸在膛内运动过程特定的弹道环境下, 自锁箍相对尾杆产生相对运动, 卯点发生塑性变形, 当自锁箍受到的环境力大于自

收稿日期: 2024-10-16; 修回日期: 2024-11-18

第一作者: 王 涛(1998—), 男, 安徽人, 硕士。

锁箍材料的抗剪切性能时,自锁箍对翼片的锁定可靠解除,翼片以销轴为旋转轴张开,翼片是在出炮口后一定距离内一致张开,保证弹丸外弹道飞行稳定^[1]。

2 计算与分析

2.1 自锁箍作用过程及受力情况分析

弹丸发射过程中自锁箍受到直线惯性力的作用,自锁箍沿尾杆轴向向尾杆底部运动,铆在铆窝中的自锁箍突起在拉力作用下发生弹塑性变形,由弯曲状态变为伸直状态,即自锁箍的卯凸点发生剪切变形,自锁箍后移到位,解除对翼片锁箍能力,在惯性力和空气摩擦力的作用下,翼片可以实现自由张开。自锁箍发生弹塑性变形过程的计算比较复杂。为了简化计算,做如下假设:弹丸发射时,铆在铆窝中的自锁箍突起保持原来形状不变,直至自锁箍卯点突起在与尾杆卯窝发生相对运动而发生剪切破坏,此时自锁箍卯凸点发生剪切破坏所需的力远大于其发生变形所需的力,只要能够保证自锁箍所受的惯性力可以满足其剪切破坏的要求,则可以得出结论,自锁箍在剪切之前早已由于发生变形而对翼片可靠地解开了锁定。

2.2 自锁箍受力计算

2.2.1 自锁箍材料发生剪切惯性力

根据材料力学剪切实用计算公式^[2-3]:

$$P/A \leq [\tau] \quad (1)$$

式中: $[\tau]$ 为许用剪应力; P 为剪力; A 为剪切面积。

2.2.1.1 自锁箍许用过载系数

$$P=[n]mg=[n] \times 0.02 \times 9.8=0.196[n] \quad (2)$$

式中: $[n]$ 为许用过载系数; m 为自锁箍质量的 1/2 (由于只计算一面突起,故只取自锁箍质量的 1/2); g 为重力加速度。

2.2.1.2 自锁箍的剪切面积

$$A=bt=5 \times 2.5 \times 10^{-6}=12.5 \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中: b 为突起宽度; t 为材料厚度。

2.2.1.3 自锁箍材料的许用剪切应力

根据自锁箍的材料牌号,在实用金属材料手册^[4]中查到材料性能参数如表 1 所示。

表 1 自锁箍材料性能参数

牌号	屈服极限 σ_s /MPa	牌号	屈服极限 σ_s /MPa
08F	175	10F	185
10	205		

根据材料力学理论,材料的许用剪切应力满足

如下关系:

$$[\tau]=(0.6 \sim 0.8)[\sigma] \quad (4)$$

为了确保翼片可靠张开,这里取系数 0.8, $[\sigma]$ 取 3 种材料中的最大值 205 MPa。于是计算得到自锁箍材料的剪切许用应力:

$$[\tau]=0.8 \times 205=164 \quad (5)$$

2.2.1.4 剪切计算

将计算得到的许用过载系数、剪切面积和剪切许用应力值代入实用剪切计算公式^[2-3]:

$$P/A \leq [\tau]=\{0.196[n]/(12.5 \times 10^{-6})\} \leq 164 \times 10^6 \quad (6)$$

可以计算得到许用过载系数: $[n] \leq 10\,459$ 。

从而可以计算得到自锁箍发生剪切应承受的最小惯性力为:

$$F=[n]m=10\,459 \times 0.02=209.18 \quad (7)$$

2.2.2 自锁箍在弹丸射击过程实际承受惯性力

根据该型破甲弹的内弹道性能参数,可以计算得到弹丸承受的最大过载系数:

$$n=(P_m S)/m_n=289.3 \times 10^6 \times 12\,271.85 \times 10^{-6}/(18.5 \times 9.8)=19\,582 \quad (8)$$

式中: P_m 为弹丸发射的最大膛压; S 为弹丸最大横截面积; m_n 为弹丸的重力。

由此可以计算得到自锁箍对应的最大膛压时刻最大惯性力为:

$$F=[n]m=19\,582 \times 0.02=391.64 \quad (9)$$

此数值大约为许用过载系数对应惯性力的一倍,所以惯性力可以达到自锁箍发生剪切破坏所需大小的力,自锁箍能够发生变形而解除翼片的锁定,弹丸发射时可以满足翼片可靠张开的使用要求。

2.3 自锁箍静态验证试验

为验证自锁箍结构设计合理和理论计算结果的可靠性,通过采用静态试验方法对自锁箍的抗剪切能力进行了验证试验,对自锁箍轴向施加从 0 逐渐增大的拉力,当对自锁箍施加的外力达到 192 N 时,自锁箍发生剪切破坏,自锁箍对翼片实现可靠解锁,静态试验结果与理论计算结果基本相吻合。

3 自锁箍跌落可靠性计算

3.1 跌落过程受力分析及计算条件

自锁箍除了在弹丸发射时要求可靠解锁,还需要在平时的勤务处理中能够可靠锁定翼片,保证翼片不张开。为此,还需要讨论其在跌落试验中的锁定可靠性。考虑其在跌落试验中最恶劣的条件,为

为了方便计算和分析, 假设如下: 弹丸不带任何包装, 弹体头上尾下, 弹轴垂直于地面, 从 1.5 m 高度跌落到水泥地面上, 在此过程中, 自锁箍受力最大的时刻发生在从弹尾接触水泥地面开始到弹丸速度减小到零终止这段时间内, 即发生在撞击过程中, 自锁箍受到的最主要的力是由速度剧减而引起的惯性力。

由于撞击过程中发生的物理变化极为复杂, 为了简化计算, 不妨先作如下假设:

1) 在撞击过程中, 弹丸(自锁箍)所受的阻力是恒定的, 即以平均阻力进行计算。

2) 基于假设, 弹丸(自锁箍)的速度衰减也是线性的。

3) 弹丸撞到地面上, 在地面上撞出深度为 1 mm 的坑(或使地面发生的变形量为 1 mm)。根据实际经验, 弹丸跌落时在水泥地面上撞出 1 mm 的坑是完全可能的, 即弹丸与地面撞击引起的变形的数量级应该是毫米级的。若无此假设, 采用常规方法进行计算将是十分困难的。

3.2 跌落过程自锁箍所受惯性力计算

3.2.1 自锁箍减速过程中消耗的功及撞击速度

根据理论力学知识^[5], 自锁箍减速过程中消耗的功是由自锁箍的重力势能转化而来, 其 W 大小为:

$$W=mgh=0.02\times 9.8\times 1.5=0.294。 \quad (10)$$

自锁箍撞击开始时初始的速度 v_0 为:

$$v_0=\sqrt{2gh}=\sqrt{2\times 9.8\times 1.5}=5.422。 \quad (11)$$

由于假设撞击过程中的速度衰减是线性的, 因此撞击的平均速度 v_p 为:

$$v_p=v_0/2=5.422/2=2.711。 \quad (12)$$

3.2.2 撞击时间

由假设可知, 撞击时发生的位移为 1 mm, 而撞击的速度为 v_p , 因此撞击时间 t 为:

$$t=1\times 10^{-3}/v_p=(1\times 10^{-3})/2.711=3.69\times 10^{-4}。 \quad (13)$$

3.2.3 撞击力

撞击过程中, 速度为 v_p , 撞击时间为 t , 消耗的功为 W , 由功率的定义可以得出平均撞击产生的惯性力 F 的大小为:

$$F=W/(v_ptg)=0.294/(2.711\times 3.69\times 10^{-4}\times 9.8)=29.99。 \quad (14)$$

由以上计算和分析结果可知, 弹丸在落高为 1.5 m, 弹丸轴线垂直于地面, 且弹丸直接与水泥地

面发生撞击的跌落条件下, 自锁箍所受的惯性力约为 29.99 N, 此力远小于试验测得的自锁箍发生剪切的最小条件 176 N, 考虑到弹丸在勤务处理中大多处于带包装状态, 缓冲条件要好得多, 而且发生弹丸垂直跌落的机率也是十分微小, 自锁箍受到的惯性力要比 29.99 N 小得更多, 自锁箍可以满足勤务处理过程中的锁定可靠性要求。

3.2.4 跌落验证试验

在上述理论计算的基础上, 采用该型破甲弹砂弹进行了跌落验证试验。试验跌落高度为 1.5 m, 被试弹弹底向下垂直地面跌落, 跌落后对被试弹丸进行检查。跌落试验结果表明: 该型破甲弹自锁箍作用可靠, 能够满足勤务处理相关规定的要求。

4 结论

该型破甲弹自锁箍的临界剪切力应为大于等于 209.18 N; 自锁箍在静态验证试验过程发生的剪切破坏最小力为 192 N; 试验结果与计算临界力相差 0.08%, 而自锁箍在发射过程中承受的最大惯性力为 391.64 N。计算结果表明, 弹丸在火炮发射过程中自锁箍可以可靠解锁, 满足翼片可靠张开的使用要求。

该型破甲弹在 1.5 m 高度垂直地面跌落时自锁箍受到的惯性力约为 29.99 N; 而自锁箍在静态验证试验过程发生的剪切破坏最小力为 192 N, 自锁箍 1.5 m 跌落受到的惯性力远小于自锁箍发生剪切破坏所需的最小力, 弹药满足勤务处理过程中翼片可靠锁定使用要求。

综合以上计算、分析及试验验证结果, 该型破甲弹自锁箍在发射过程中出炮口后能可靠解锁, 在膛内和勤务处理过程中能可靠锁定, 翼片张开可靠性满足使用要求。

参考文献:

- [1] 王频. 尾翼弹稳定装置动力仿真及结构优化研究[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2015.
- [2] 刘鸿文. 材料力学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1992: 15-60.
- [3] 梅凤翔. 工程力学(上册)[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2003: 321-325.
- [4] 刘胜新. 实用金属材料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2008.
- [5] 哈尔滨工业大学理论力学教研组. 理论力学(上册)[M]. 北京: 高等教育出版社, 1981: 7-20.