

航空航天装备

可散式弹链拉断力变化规律研究

封先河, 杨万均, 罗丹, 陈星昊, 杨昊雨

(西南技术工程研究所, 重庆 400039)

摘要: **目的** 确保弹箱内的弹链(抱弹状态)在库房存放一段时间后依然稳定供弹, 描述可散式弹链拉断力在不同温度环境下的变化规律。**方法** 应用环境作用动力学理论, 建立可散式弹链的拉断力变化微分方程, 求解可散式弹链的拉断力变化微分方程, 得到可散式弹链拉断力变化规律的微分方程通解, 再通过高温加速试验数据, 求得可散式弹链拉断力变化规律的微分方程通解系数, 建立可散式弹链拉断力变化规律模型。选择具体的 XX 可散式弹链, 通过实验室 70、90、110、130、150 °C 的加速试验, 获取高温加速试验数据。采用粒子群全局优化算法, 由高温加速试验数据求得可散式弹链拉断力变化规律通解中的系数, 得到 XX 可散式弹链拉断力变化规律模型。**结果** 通过海南、江津库内的短期实测数据, 与 XX 可散式弹链拉断力变化规律模型计算结果进行对比, 最大误差小于 5%。**结论** 验证了可散式弹链拉断力变化规律模型的有效性。

关键词: 环境作用动力学; 弹链; 拉断力; 加速试验; 优化算法

中图分类号: TJ202

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2022)03-0058-06

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.03.009

Change Law of Tensile Force of the Dispersible Ammunition Belt

FENG Xian-he, YANG Wan-jun, LUO Dan, CHEN Xing-hao, YANG Hao-yu

(Southwest Institute of Technology and Engineering, Chongqing 400039, China)

ABSTRACT: In order to ensure that the ammunition belt in the magazine can work in normal condition after keeping in the storeroom for a period of time, it is necessary to describe the behavior of the tensile force of the dispersible ammunition belt at different temperatures. In this paper, the tensile force changing differential equation of the dispersible ammunition belt is established based on the theory of environmental action dynamics. The tensile force changing differential equation of the dispersible ammunition belt needs to be solved to obtain the general differential equation solution of the tensile force behavior of the dispersible ammunition belt as well as the general solution coefficient of the tensile force of the belt from the high temperature accelerated test data. Then a model of the tensile force of the belt will be established. The concrete XX dispersible ammunition belt is selected to obtain the high temperature acceleration test data through the acceleration tests at 70, 90, 110, 130 and 150 °C in the laboratory. Based on the data of high temperature accelerated test, the coefficients in the general solution are obtained, and the change law model of XX dispersible ammunition belt tensile force is established. Based on the short-term measured data in Hainan and Jiangjin, the validity of the model is verified by the fact that the maximum error is less than 5%. This change law model of XX dispersible ammunition belt tensile force is effective.

KEY WORDS: environmental action dynamics; ammunition belt; tensile force; accelerated test; optimized algorithm

收稿日期: 2021-10-29; 修订日期: 2021-11-25

Received: 2021-10-29; Revised: 2021-11-25

作者简介: 封先河(1967—), 男, 高级工程师, 主要研究方向为环境作用动力学及应用。

Biography: FENG Xian-he (1967—), Male, Senior engineer, Research focus: environmental action dynamics and its application.

引文格式: 封先河, 杨万均, 罗丹, 等. 可散式弹链拉断力变化规律研究[J]. 装备环境工程, 2022, 19(3): 058-063.

FENG Xian-he, YANG Wan-jun, LUO Dan, et al. Change Law of Tensile Force of the Dispersible Ammunition Belt[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(3): 058-063.

近代的机枪由于射速较高,标准弹匣无法做到持续火力效果,而大容量弹匣也经常出现卡弹问题,原因是弹匣供弹过快,令机匣导气量不足。弹链是把大量子弹以串联方式连接起来的供弹具,主要目的是令机枪可无间断地持续发射连串子弹,为机枪或各种全自动速射武器持续供弹,做到持续火力效果,可分为“可散式弹链”和“不可散式弹链”。弹链的发明人是马克沁,他在发明全自动速射武器(马克沁机枪)的时候,为解决其持续供弹的问题而设计出的弹链由帆布和金属片制成,为不可散式弹链。二战时,美军的机枪多是不可散式弹链,但由于供弹不稳定,由越战时的 M60 机枪已改用金属制 M13 可散式弹链,其后大部分国家的机枪亦跟随潮流,可见可散式弹链在战场上使用较为方便,备受信赖。

弹链供弹的稳定性依赖于弹链的稳定性^[1-20],其中的拉断力是弹链的重要指标,而弹链通常存放在弹链携行箱(又称弹箱)内,长期存放在库房中,拉断力和拔弹力会随时间产生变化,一旦超出设计范围,就会影响弹链供弹的稳定性。为了确保弹箱内的弹链(抱弹状态)在库房存放一段时间后依然稳定供弹,需要描述弹链拉断力的变化规律,判断弹链拉断力和拔弹力是否超出设计范围,影响弹链稳定供弹。目前少有关于弹链拉断力变化规律的研究,环境作用动力学作为描述这些缓慢变化过程的新理论,已经得到广泛的应用^[20-25],本文用它对可散式弹链拉断力变化规律建立了数学模型,并进行了验证。

1 原理

1.1 拉断力大小分析

弹链的拉断过程是弹壳从弹链的连接环开口中滑落的过程,弹链的连接环开口为 d , 弹壳直径为 D , $d < D$, 如图 1a 所示。当弹链承受拉力时,弹链的连接环开口会变大,直到弹链承受拉力达到最大值时,弹链的连接环开口 $d=D$,弹壳从弹链的连接环开口中滑落,如图 1b 所示。此时,弹壳的受力如图 2 所示。

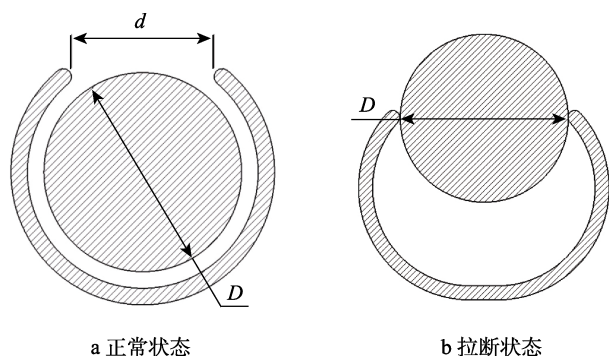


图 1 连接环状态

Fig.1 Connecting ring status: a) normal state; b) broken state

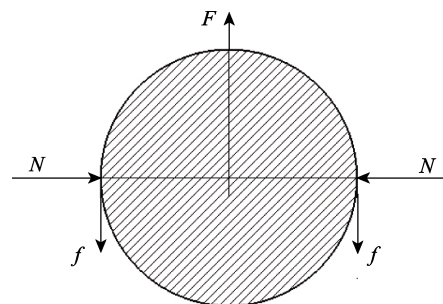


图 2 拉断力分析

Fig.2 Schematic diagram of tensile breaking force analysis

图 2 中,弹壳受弹链连接环的压力为 N , 设弹壳与弹链连接环的摩擦系数为 u , 则弹壳受到的摩擦力为 $2f$ 。弹壳受弹链连接环的最大压力 N 与弹链的连接环开口 d 的大小有关,弹链连接环等效一个弹簧圈,满足虎克定律,于是弹壳受弹链连接环的压力 N 为:

$$N=K \times (D-d) \quad (1)$$

弹链的拉断力为:

$$F=2u \times K \times D - 2u \times K \times d \quad (2)$$

令 $C=2u \times K \times D$, $B=-2u \times K$, 有:

$$F=B \times d + C \quad (3)$$

1.2 拉断力变化分析

可散式弹链经过冲压、热处理等生产工艺加工而成,在生产过程中,会产生一定的内应力,内应力随着时间会不断释放,引起弹链的变形,进而影响可散式弹链的拔弹力和抱弹力。按照德国学者马赫劳赫提出的分类方法,内应力分为 3 类:第 I 类内应力是存在于材料的较大区域内,并在整个物体各个截面保持平衡的内应力,当一个物体的第 I 类内应力平衡和内力矩平衡被破坏时,物体会产生宏观的尺寸变化;第 II 类内应力是存在于较小范围(1 个晶粒或晶粒内部的区域)的内应力;第 III 类内应力是存在于极小范围(几个原子间距)的内应力。

可散式弹链的前抱弹环、后抱弹环和连接环可以理想化成弹簧圈。根据弹链的拉断力和拔弹力宏观分析结论,能够影响可散式弹链的前抱弹环、后抱弹环和连接环直径变化的是第 I 类内应力。根据生产工艺的不同,弹簧圈的内应力可以是内圈压应力、外圈拉应力,也可以是内圈拉应力、外圈压应力。随着残余应力的释放,产生的变形可以是张开,也可以是闭合。变化量会随着时间逐步减小,直到消失,如图 3 所示。

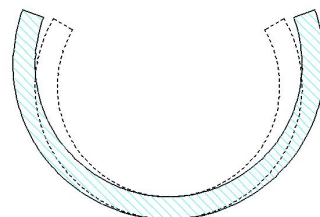


图 3 弹簧圈形状变化

Fig.3 Schematic diagram of spring coil shape change

如果弹簧圈的宏观内应力为内圈压应力、外圈拉应力,那么宏观内应力释放后,弹簧圈直径会变大,或者开口会变大;如果弹簧圈的宏观内应力为内圈拉应力、外圈压应力,那么宏观内应力释放后,弹簧圈直径会变小,或者开口会变小。结合式(3)可知,可散式弹链的拉断力会随着可散式弹链连接环宏观内应力的释放而变化。

1.3 环境作用动力学分析

按照环境作用动力学理论,弹链的连接环和抱弹环内部残余应力释放完成后,连接环和抱弹环停止变形,变化过程存在终点,只能产生1次变化,故:

$$Q=I-P \quad (4)$$

式中: Q 为变化重复性; P 为变化进程。

可散式弹链存放于库房弹箱中,忽略其他宏观环境作用,同时假定所有的弹链的加工工艺相同,加工后的宏观内应力分布相同。因此,可散式弹链的环境作用 σ 恒定,可以表示为:

$$\sigma=1 \quad (5)$$

由于环境作用 σ 恒定,故可忽视可散式弹链的环境适应性:

$$S=1 \quad (6)$$

式中: S 为环境适应性。

以一次性可散式弹链的拉断力变化比为变化度量值 I , 一次性可散式弹链的初始拉断力为 F_0 , 最终拉断力为 F , 中间过程的拉断力为 F_t , 即:

$$I=(F_t-F_0)/(F-F_0) \quad (7)$$

当 $t=0$ 时, $P=0$, $I=0$; 当 $t=\infty$ 时, $P=1$, $I=1$ 。实际的变化进程 P 与变化度量值可能存在一定的非线性关系,运用泰勒级数展开,进行一阶近似,简化为线性关系加高阶无穷小量。即:

$$I=P+o(P) \approx P \quad (8)$$

应用环境作用动力学方程^[26], 有:

$$\frac{dI(t,T)}{dt}=j \times (1-I(t,T)) \times W(T) \quad (9)$$

其中:

$$W(T)=e^{-\frac{E_0+fT^2+gT}{kT}} \quad (10)$$

式(9)的通解为:

$$I=1-e^{-jW(T)\ln(t+1)}+C \quad (11)$$

式(11)中, j 取1, 考虑初始状态 $t=0$ 时, $I=0$, 则 $C=0$, 于是式(11)简化为:

$$I=1-e^{-\ln(t+1) \times e^{-\frac{E_0+fT^2+gT}{kT}}} \quad (12)$$

代入式(7)得:

$$F_t(t,T)=\left(1-e^{-\ln(t+1) \times e^{-\frac{E_0+fT^2+gT}{kT}}}\right) \times (F-F_0)+F_0 \quad (13)$$

式(13)中参数由原始试验数据确定 F_0 , 由温度试验数据确定 F 、 f 、 g 、 E_0 的值, 代入得到可散弹链拉断力变化模型。

2 XX 可散弹链的模型建立

2.1 XX 可散弹链的温度加速试验

将 XX 可散式弹链安装上填沙弹, 形成5个弹的弹链, 作为一个样品。参照 Q/CD《受力金属弹簧贮存寿命快速评估方法》, 在70、90、110、130、150℃的恒温箱中进行温度试验。每个温度点取3个平行样品, 原始值取6个平行样品的平均值, 按照1、4、8、16、32、48、64、84 d 进行取样。

由于弹链拉断力较小, 因此采用500 kg 电子拉力试验机, 参照 GB/T 1040—2018《塑料 拉伸性能的测定》进行拉断力测试。

2.2 XX 可散弹链的温度加速试验结果

拉断力原始样的测试结果见表1。XX 可散式弹链拉断力温度加速试验结果见表2。

2.3 XX 可散弹链拉断力的 F 、 f 、 g 、 E_0 计算

试验数据首先由测试点 i 的值, 根据式(7)生成变化度量值 I_i 。再由试样 i 的取样周期 T_i 和试验温度 t_i , 与生成的变化度量值 I_i 一起, 形成数据组 (I_i, T_i, t_i) , $i=1, \dots, n$ 。其中, n 为样品数量。

由于试验数据组数较多, 在求解参数 f 、 g 、 E_0 的值时, 会形成超静定方程组, 因此需利用优化理论以误差最小为求解条件。其中, 误差函数为:

$$\varphi(E_0, f, g, F)=\sum_n (F(t,T)-F_0)^2 \quad (15)$$

用改进的 MATLAB 粒子群算法, 求得全局最优解: $E_0=9140.3$, $f=0$, $g=0.1$, $F=301.8$ 。

2.4 XX 可散弹链的拉断力变化模型

XX 可散弹链的拉断力变化模型为:

$$F_t(t,T)=\left(1-e^{-\ln(t+1) \times e^{-\frac{9122.9+0.1T}{kT}}}\right) \times (301.8-210.6)+210.6 \quad (16)$$

表1 XX 可散式弹链拉断力原始值

Tab.1 Original value of tensile breaking force of XX dispersible ammunition belt

N

平行样 1	平行样 2	平行样 3	平行样 4	平行样 5	平行样 6	均值
233.0	219.2	210.3	182.2	212.9	206.0	210.6

表 2 XX 可散式弹链拉断力温度加速试验结果
Tab.2 Temperature acceleration test result of tensile breaking force of XX dispersible ammunition belt

试验温度 /℃	试验时间 /d	平行样 1/N	平行样 2/N	平行样 3/N	均值 /N
70	1	218.7	224.9	225.7	223.1
	4	240.4	249.5	227.1	239.0
	8	242.8	249.0	241.8	244.5
	16	240.0	234.6	229.0	234.5
	32	252.8	265.2	265.9	261.3
	48	242.0	223.1	246.4	237.2
	64	265.7	276.0	238.6	260.1
	84	238.4	267.7	269.1	258.4
	96	274.6	265.4	278.8	272.9
90	1	220.7	230.9	239.6	230.4
	4	229.5	253.0	243.1	241.9
	8	259.8	263.4	261.3	261.5
	16	263.1	269.6	226.8	253.2
	32	280.5	280.3	279.9	280.2
	48	275.9	249.1	234.4	253.1
	64	268.6	220.5	285.1	258.0
	84	287.5	283.4	296.2	289.0
	96	281.7	280.2	260.6	274.2
110	1	233.9	235.6	208.1	225.9
	4	229.1	244.8	246.5	240.2
	8	280.8	269.7	261.3	270.6
	16	276.4	259.7	268.2	268.1
	32	275.9	288.9	256.1	273.6
	48	242.2	270.3	252.2	254.9
	64	296.3	296.5	261.2	284.7
	84	263.8	278.4	278.6	273.6
	96	269.9	302.1	294.1	288.7
130	1	203.1	245.7	227.5	225.4
	4	260.2	253.6	255.9	256.6
	8	271.1	266.9	289.2	275.7
	16	246.3	274.2	283.6	268.0
	32	280.5	282.9	272.1	278.5
	48	278.3	273.4	283.5	278.4
	64	306.9	302.3	303.3	304.1
	84	282.3	290.6	291.3	288.0
	96	282.0	291.6	301.7	291.8
150	1	283.7	237.3	263.9	261.7
	4	248.0	264.4	263.9	258.8
	8	291.4	282.2	251.1	274.9
	16	278.4	265.0	235.9	259.8
	32	288.4	276.6	297.1	287.4
	48	280.2	294.2	298.6	291.0
	64	295.7	302.2	322.1	306.7
	84	294.2	311.5	311.9	305.9

计算 25℃环境 5000 d 的数据，如图 4 所示。

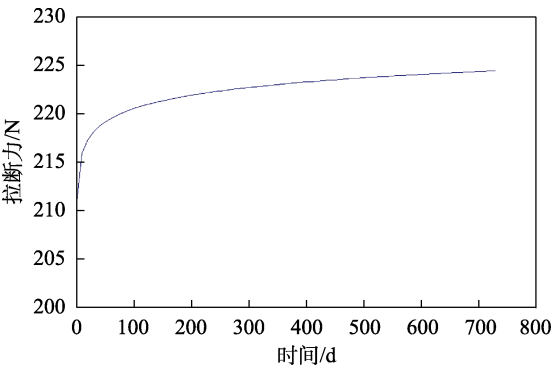


图 4 25℃度环境 5000 d 的计算值
Fig.4 Calculated value of 5000 days in 25℃ environment

3 XX 弹链的拉断力变化模型短期验证

验证试验在江津和海南进行，依照 WJ 2156—1993《兵器产品自然环境试验方法 贮存试验》进行自然环境贮存试验，试验数据见表 3、表 4。验证试验期间，江津和海南试验站库内的平均温度为 20.4、27.5℃。

表 3 万宁站 XX 可散式弹链拉断力验证试验数据
Tab.3 Verification test data of tensile breaking force of XX dispersible elastic belt in Wanning station

序号	试验时间	拉断力/N			
		平行样 1	平行样 2	平行样 3	均值
1	6 月	210.0	218.1	204.5	210.9
2	12 月	232.2	224.9	228.3	228.3

表 4 江津站 XX 可散式弹链拉断力验证试验数据
Tab.4 Verification test data of tensile breaking force of XX dispersible elastic belt in Jiangjin station

序号	试验时间	拉断力/N			
		平行样 1	平行样 2	平行样 3	均值
1	6 月	220.1	225.8	240.9	225.8
2	12 月	204.4	215.6	215.8	215.6

试验数据和 XX 可散式弹链的拉断力变化模型预测结果见表 5。

表 5 预测值与试验值比较
Tab.5 Comparison between predicted value and test value

试验站	试验时间	计算值/N	试验值/N	误差/%
江津	6 月	215.840 7	225.8	−4.410 68
	12 月	220.796 5	215.6	2.410 25
海南	6 月	216.609 5	210.9	2.707 207
	12 月	221.940 7	228.3	−2.785 5

4 结论

1) 针对可散式弹链拉断力变化问题,应用环境作用动力学理论,可以建立基于环境作用动力学的可散式弹链拉断力变化规律微分方程,并求得通解。

2) 针对具体的 XX 可散式弹链,通过加速热老化试验数据,可以求得 XX 可散式弹链拉断力变化规律通解的待定常数,建立 XX 可散式弹链拉断力变化模型。

3) 通过在江津和海南库内进行验证试验数据,短期验证了 XX 可散式弹链拉断力变化模型的有效性,最大误差小于 5%,模型有效。

参考文献:

- [1] 高志峰. 弹带供弹弹链受力、变形分析[D]. 南京: 南京理工大学, 1992.
GAO Zhi-feng. Force and Deformation Analysis of Belt Supply Chain[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 1992.
- [2] 王立新, 柳占雄, 龙健, 等. 某弹链力学性能计算[J]. 四川兵工学报, 2011, 32(7): 16-20.
WANG Li-xin, LIU Zhan-xiong, LONG Jian, et al. Calculation of Mechanic Performance for Certain Type of Chain Shot[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2011, 32(7): 16-20.
- [3] 彭峰生. 弹链力学性能研究[J]. 火炮发射与控制学报, 2002, 23(3): 25-29.
PENG Feng-sheng. Study on Mechanics Performance of Ammunition Link[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2002, 23(3): 25-29.
- [4] 常学芳, 王惠源, 徐健. 14.5mm 机枪弹链装弹-脱弹过程数值仿真及实验验证[J]. 舰船科学技术, 2010, 32(7): 98-101.
CHANG Xue-fang, WANG Hui-yuan, XU Jian. Numerical Simulation and Experiment Verification for Belt Load-Unload Bullet Process for 14.5 mm Machine Gun[J]. Ship Science and Technology, 2010, 32(7): 98-101.
- [5] 薄玉成, 李强. 弹链的某些参数对转管武器射速的影响[J]. 火炮发射与控制学报, 2003, 24(2): 37-39.
BO Yu-cheng, LI Qiang. Influence of Feed Belt Parameters on Catling Type Weapon Fire Rate[J]. Gun Launch & Control Journal, 2003, 24(2): 37-39.
- [6] 庞伟. 转管武器自动机运动特性分析与仿真技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2015.
PANG Wei. Kinematics Analysis and Simulation of Gatling Gun[D]. Taiyuan: North University of China, 2015.
- [7] 姜铁牛. 30 mm 自动炮弹链供弹特性匹配[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.
JIANG Tie-niu. Matching of 30 mm Automatic Shell Chain Feeding Characteristics[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007.
- [8] 余周, 齐晓林. 某型飞机环形弹带受力分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2007, 28(3): 40-43.
YU Zhou, QI Xiao-lin. Force Analysis of Endless Belt in Aircraft[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2007, 28(3): 40-43.
- [9] 王捷. 供弹机构受力变形的计算与分析[J]. 西仪科技, 1994(1): 7-13.
WANG Jie. Calculation and Analysis of the Force and Deformation of the Shell-Feeding Mechanism[J]. Nishi Technology, 1994(1): 7-13.
- [10] 雷明远, 李强, 张鹏军, 等. 某开式弹链脱弹力计算分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2018, 39(1): 52-55.
LEI Ming-yuan, LI Qiang, ZHANG Peng-jun, et al. The Pull-off-Force Calculation Analysis of an Open Link Belt[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2018, 39(1): 52-55.
- [11] 李川. 开式弹链脱弹过程数理模型的建立与应用[J]. 自动化与仪器仪表, 2016(11): 214-217.
LI Chuan. Establishment and Application of Bullet Discarding Process of Open Link Chain[J]. Automation & Instrumentation, 2016(11): 214-217.
- [12] 彭峰生, 梁世瑞. 弹链设计参数协调分析法研究[J]. 兵工学报, 2004, 25(3): 272-275.
PENG Feng-sheng, LIANG Shi-rui. A Study on Ammunition Link Design by the Parameters Matching Analysis Method[J]. Acta Armamentarii, 2004, 25(3): 272-275.
- [13] 刘朋展. 12.7 mm 链式机枪供弹系统设计[D]. 太原: 中北大学, 2014.
LIU Peng-zhan. Ammunition System Design of 12.7 mm Chain Machine Gun[D]. Taiyuan: North University of China, 2014.
- [14] 张小石. 链式自动机驱动技术研究[D]. 太原: 中北大学, 2015.
ZHANG Xiao-shi. The Research of Drive Technology of Chain Automatic Mechanism[D]. Taiyuan: North University of China, 2015.
- [15] 段华. 某双路供弹自动机关键技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2013.
DUAN Hua. Research on the Key Technology of a Two-Way Ammunition Feeding Automaton[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2013.
- [16] 温新光, 倪文炳. 弹链节横向脱弹力的实验分析[J]. 望江科技, 1989(4): 24-28.
Wen Xin-guang, Ni Wen-bing. Experimental Analysis of the Transverse Deelastic Force of the Elastic Link[J]. China Civil Engineering Journal, 1989(4): 24-28.
- [17] 吴宝双, 李强. 基于 ABAQUS 开式弹链脱弹阻力研究分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2014, 35(3): 26-30.
WU Bao-shuang, LI Qiang. Research and Analysis of Open Ammunition Chain Pop-up Resistance Based on ABAQUS[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2014, 35(3): 26-30.
- [18] 张斌. 某内能源转管舰炮系统弹箱掉弹问题研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2007.

- ZHANG Bin. Study on the Problem of Shell Drop in the Shell Box of an Internal Energy Revolving Tube Naval Gun System[D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2007.
- [19] 马亚辉. 舰炮模块化设计及供弹样机动力学研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- MA Ya-hui. Study on Mordular Design of Naval Gun and Dynamic Research on Feed System Prototype Machine[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2007.
- [20] 张龙. 基于生物蠕变特性的弹药输送系统设计及机理研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2015.
- ZHANG Long. Design of Feeding System and Mechanism Research Based on Biological Wriggle Characteristics[D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2015.
- [21] 封先河, 曹学军. 环境作用动力学在应力腐蚀断裂中的应用[J]. 装备环境工程, 2016, 13(5): 76-80.
- FENG Xian-he, CAO Xue-jun. Application of Environmental Effect Dynamics in Stress Corrosion Cracking[J]. Equipment Environmental Engineering, 2016, 13(5): 76-80.
- [22] 封先河, 曹学军, 杨万均, 等. 环境作用动力学及其在武器装备定寿延寿中的应用[J]. 装备环境工程, 2014, 11(4): 26-31.
- FENG Xian-he, CAO Xue-jun, YANG Wan-jun, et al. Dynamics of Environmental Effect and Its Application in Determination and Extension of Weapon Service Life[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(4): 26-31.
- [23] 封先河, 魏小琴. 压缩氟硅橡胶 O 形密封圈蠕变/老化行为研究[J]. 中国科学: 物理学 力学 天文学, 2014, 44(5): 486-491.
- FENG Xian-he, WEI Xiao-qin. Creep/Aging Behavior Study of Compressed Fluorinated Silicone Rubber O Ring[J]. Scientia Sinica (Physica, Mechanica & Astronomica), 2014, 44(5): 486-491.
- [24] 封先河. 蠕变动力学模型及其在弹簧蠕变中的应用[J]. 科学通报, 2012, 57(25): 2354-2358.
- FENG Xian-he. Creep Dynamic Model and Its Application in Creep of Spring[J]. Chinese Science Bulletin, 2012, 57(25): 2354-2358.
- [25] 李迪凡, 封先河, 刘聪. 某型导弹尾翼弹簧贮存寿命评估[J]. 装备环境工程, 2012, 9(2): 1-3.
- LI Di-fan, FENG Xian-he, LIU Cong. Storage Life Evaluation of Empennage Springs[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9(2): 1-3.
- [26] 封先河. 环境作用动力学基础及应用[J]. 装备环境工程, 2015, 12(2): 15-18.
- FENG Xian-he. Basement and Application of Dynamics of Environmental Effect[J]. Equipment Environmental Engineering, 2015, 12(2): 15-18.