

基于可靠性的弹药壳体分析设计

许兴春¹, 陈亚旭², 李天鹏¹, 闫军¹

(1. 军械工程学院, 石家庄 050003; 2. 北京市北三环中路四号, 北京 100072)

摘要: 壳体的可靠性设计必须充分考虑各种随机变量。通过对弹药壳体从制造、贮存到使用各个环节进行分析研究, 得出使壳体损坏的随机变量的散布特性, 然后设计了记录随机变量的表格, 提出了建立随机变量数据库的方法, 最后利用可靠性数学方法对壳体进行可靠性设计。

关键词: 可靠性; 弹药壳体; 随机变量

中图分类号: TJ410.3⁺3 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2011)05-0085-04

Analysis and Design of Ammunition Shell Based on Reliability

XV Xing-chun¹, CHEN Ya-xu², LI Tian-peng¹, YAN Jun¹

(1. Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. North Third Ring Road on the 4th, Beijing 100720, China)

Abstract: Random variables should be fully considered in reliability design of ammunition shell. The distribution characters of random variables caused ammunition shell damage were obtained through analysis of every links such as manufacturing, storage, and application. A form for recording random variables was designed. The method to establish random variable database was put forward. The reliability design of ammunition shell was carried out with reliability mathematics.

Key words: reliability; ammunition case; random variables

弹药壳体可靠性包括储存可靠性和作用可靠性。弹药壳体作为保护弹药的第一道屏障, 关系弹药的贮存安全、运输安全和作用可靠性。

弹药壳体在制造、贮存和使用过程中, 要承受多种载荷作用, 这种作用是随机的; 同时壳体材料自身的特性也具有一定的随机性; 另外, 人为的因素也会造成壳体具有特定缺陷, 这种因素也是随机的。壳

体的可靠性设计与分析必须充分考虑这些随机特性, 用可靠性数学理论进行研究, 保证壳体的可靠性符合指标要求。

1 弹药壳体在全寿命周期内随机变量的散布特性分析

要保证弹药壳体的可靠性, 在设计弹药壳体时,

收稿日期: 2011-06-02

作者简介: 许兴春(1986—), 男, 江苏盐城人, 硕士研究生, 主要研究方向为弹药工程与爆炸技术。

必须首先掌握弹药壳体在制造、贮存和使用相关随机变量的散布特性。根据统计学原理,失效为常数的分布为指数分布;失效由“最弱”环节决定的分布为极值分布;受很多独立随机因素影响,且没有一种因素起主导作用,这种分布用正态分布描述。

1.1 材料特性分析

材料的自身特性主要包括抗拉强度、延伸率等。选择弹药壳体材料时,需要对材料做抽样检验,获得不同批次材料的抗拉强度 σ 、延伸率 δ 等检验数据。为可靠地统计获得材料的散布特性,应根据使用安全下限要满足的概率条件与给定的置信水平求得所需子样容量的估计值。最后,根据获得材料特性的散布特征,计算出材料强度的均值 $\bar{\sigma}$ 和方差 s^2 。

1.2 结构尺寸分析^[1]

结构尺寸包括长度、宽度、厚度、孔径、孔或销的尺寸、中心距、面距、深度等。对结构尺寸的散布特征可以用机械结构可靠性设计通用的 3σ 理论,即名义尺寸可用作平均值估计量,而公差范围可假定近似于 $\pm 3\sigma$ 。

1.3 加工及工艺分析

加工过程中,人为的失误和机器故障会导致壳体加工缺陷。另外,加工工艺的缺陷也会导致壳体可靠性的降低。这些因素都是独立且随机的,没有一个因素起主导作用,可用正态分布描述。

1.4 贮存分析^[2]

弹药产品在长期储存后,由于受到各种环境应力的作用,再加上非金属元部件老化、密封不严、相容性差等因素,会出现火炸药分解、有机材料老化、金属部件腐蚀等现象,以致弹药不能可靠实现预期功能,造成失效。如火炸药长期储存后释放大量酸性气体,严重腐蚀弹内其他元部件,导致壳体强度降低,从而导致弹药可靠度降低。综上所述,贮存过程中使弹药壳体失效的因素是独立随机变量,可用正态分布描述。

1.5 使用过程分析

在使用弹药时,搬运和跌落等事件常有发生,这

些事件对壳体的使用可靠性也会产生一定影响,严重的会导致事故。弹药发射时,承受各种载荷的作用,由于这些载荷的作用,弹丸壳体会发生变形。如果弹丸壳体强度不够,就会影响弹丸沿炮膛的正确运动,严重时会使弹丸零件破裂或炸药引爆,从而导致各种事故发生。攻击目标时,如果壳体有缺陷,亦会影响弹丸的终点效应,使弹丸作用可靠性降低。以上这些因素都是随机的,彼此相互独立,因此也可以用正态分布进行描述。

2 壳体设计中随机变量数据库的建立

基于第1节中的分析,在弹药全寿命周期中,可对弹药壳体在每一个环节建立一个数据卡,每个失效模式作为数据卡的一项写出其失效事件名称,记录其失效原因^[3]。例如对某种弹药壳体设计时,应建立材料特性、结构尺寸、加工及工艺、贮存、使用过程等选项卡;对于某种失效事件应记录名称和原因等,将其对应到每个选项卡中,如图1所示。

选项	事件名称	数目	样本容量	检验条件	时间	人员	备注
材料	裂纹						
选择	---						
结构	偏大						
尺寸	---						
储存	腐蚀						

使用	变形						

图1 数据选项卡

Fig. 1 Data collection card

应用信息管理系统建立一套具有快速报表、查询统计、打开、保存等功能的弹药壳体可靠性数据库,为定量计算提供详细的数据依据,为弹药壳体的全程设计提供有力的保障。

这些随机变量分布规律需靠长期的经验积累,同时要保证数据的真实性、连续性和完整性。所谓真实性即收集的数据应反映真实的情况;连续性即保证数据记录的连续;完整性指所记录的数据尽可能要求完整。

3 弹药壳体的可靠性设计

弹药壳体可靠性设计的基础是可靠的统计数

据,需要知道相关变量的概率分布。假设按照上文中的方法已经准确建立了弹药壳体设计过程中影响可靠性各个随机因素的数据库,那么就可以使用可靠性数学理论对弹药壳体进行设计计算,来保证其可靠性要求。

3.1 概率法

概率法是将概率统计理论与传统机械设计理论相结合进行零件或构件设计的一种先进方法,能够定量地给出机械零件或构件不失效的概率^[4]。

应力强度模型认为产品所受的应力大于允许的强度就会发生失效。在应力和强度的分布类型和分布参数已知的情况下,就可以用解析法求可靠度的大小。如果已知壳体所需要的可靠度,那么也可以反求壳体的强度分布,从而求出壳体的尺寸。

弹丸在发射时主要受膛内压力、惯性力(横向和纵向)作用。通常情况下膛压起主要作用,在发射药厂提供的膛压平均值上下浮动,是一个随机量,其标准差可根据或然误差 $\gamma=0.6745\sigma$ 推算。如某杀伤爆破弹最大膛压为 220 MPa,或然误差为 0.5,则其标准误差为 0.7413。假设所选择的材料为 45 号钢,根据上文中的数据库,可以查得有关数据计算出所选材料的抗拉强度的均值 $\bar{\sigma}$ 和方差 s^2 。那么根据正态分布的应力-强度模型计算可靠度公式为:

$$R=1-\phi(z_p)=\phi(z_R), z_R=\frac{\bar{\sigma}-\sigma_1}{(s^2+s_1^2)^{1/2}} \quad (1)$$

式中: R 为所求的可靠度; $\phi(z_p)$, $\phi(z_R)$ 为标准正态分布函数; z_R , z_p 为联结系数。

从式(1)可以算得壳体在火炮膛压下的可靠度。如果可靠度不符合要求,可以通过增加材料的抗拉强度或加强局部强度使壳体的可靠性达到要求,这样就实现了可靠性数据库对壳体设计的指导作用。

3.2 模糊可靠度法

在弹药壳体设计过程中,有些场合是模糊性的,应该用模糊数学的方法来解决。比如,腐蚀会对壳体产生一定的损耗,允许的腐蚀量、允许的尺寸误差是模糊的概念,这就需要模糊数学理论去计算。

假设腐蚀失效的模糊分布的隶属函数为降半矩形隶属函数:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 0, & x > a \end{cases} \quad (2)$$

式中: $\mu_A(x)$ 为降半矩形隶属函数; a 为分布参数。

如果腐蚀量、尺寸误差量服从正态分布:

$$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

那么模糊可靠度的表达式为:

$$R = P(A) = \int_{-\infty}^{\infty} \mu_A(x) f_N(x) dx = \Phi\left(\frac{a-\mu}{\sigma}\right) \quad (4)$$

式中: A 为模糊事件; $f_N(x)$ 为腐蚀量、尺寸误差量的正态分布函数。

因此,如果已知需要的可靠度,就可以反推出分布参数 a ,从而计算允许腐蚀量、尺寸误差量,保证壳体还在预定的可靠度内。

另外,还可以用摄动概率论有限元法、Taylor展开概率有限元法、Neumann展开 Monte-Carlo 概率有限元法计算,从而使计算结果更准确^[5-6]。

4 结语

笔者对弹药壳体设计过程中影响壳体的随机变量进行分析,设计了建立弹药壳体设计可靠性数据库的方案,然后依据数据库,具体给出了壳体可靠性设计的计算方法,为弹药壳体可靠性设计提供了明确的路线。

对于某些变量的概率分布,必须投入大量的人力物力,以便得到可靠的数据。某些部件甚至需做专门的试验,以获得所需数据的统计规律。我国目前对于这些数据还很缺乏,必须在平时对弹药进行全程跟踪,记录其全寿命周期内的失效事件,从而获得统计规律。

参考文献:

- [1] 杨冬梅,赵有守. 弹药结构可靠性设计研究[J]. 弹箭与制导学报,2004,23(3):23-25.
- [2] 石质彬,赵晓利. 弹药储存可靠性设计对策研究[J]. 军械工程学院学报,2009,21(2):13-15.
- [3] 孙德福. 弹药可靠性数据分析方法研究[J]. 弹箭与制导学报,2009,29(4):113-115.
- [4] HENLEY E J, KUMAMOTO H. Reliability Engineering and

- Risk Assessment[M]. Printice-Hall, 1981: 80—101.
- [5] KAWADA Yuichi. On the Relation between the Probability of Failure and Factor of Safety in the Designing of Machine Parts under Repeated Load[J]. Bulletin of the JSME, 1997, 20(142): 403—410.
- [6] YANG Hui-jun, TIAN Run-liang, ZHAO Shi-yi. Study on Vibration Features, Safety and Reliability of Auto Loaded and Transported Ammunition [J]. Equipment environmental engineering, 2009, 6(6): 24—31.

(上接第 69 页)

- [3] 刘卓峰, 肖加余等. 芳纶基质飞艇气囊囊体材料的制备研究[J]. 高科技纤维与应用, 2006, 31(3): 26—28.
- [4] 崔毅华. 空气袋织物加工技术的研究[J]. 上海纺织科技, 2003, 31(5): 22—23.
- [5] 李能文, 黄虹, 李道喜. 碳纤维增强聚酰胺(PA/CF)复合材料的进展[J]. 精密成形工程, 2010, 2(6): 47—50.
- [6] 李鹏. TPU 胶布及其在充气囊体材料中的应用[J]. 聚氨酯工业, 2006, 21(4): 32—35.
- [7] 王国勇, 赵亮. 复合材料气囊成型工艺的质量缺陷研究[J]. 宇航材料工艺, 2006(增刊 I): 56—59.
- [8] 赵渠森. 先进复合材料手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003: 244.

(上接第 73 页)

参考文献:

- [1] 丰卫东. 海洋环境对金属材料的腐蚀及其评价方法[J]. 装备环境工程, 2005, (6): 31—33
- [2] 孙明先. 舰船阴极保护技术的现状与发展[J]. 舰船科学技术, 2001, (2): 44—46
- [3] 陈光章, 吴建华, 许立坤. 舰船腐蚀与防护[J]. 舰船科学技术, 2001, (2): 79—82
- [4] 贾洪虎. 腐蚀防护与表面技术[J]. 军民两用技术与产品, 2002, (7): 43—45
- [5] 郭为民, 李文军, 陈光章. 材料深海环境腐蚀试验[J]. 装备环境工程, 2006, (1): 5—7
- [6] 陈锡雄. 防止海水腐蚀的措施与效果[J]. 电力建设, 2001, (05): 36—37
- [7] 左昭武, 崔俊荣, 鲍承昌. 舰船腐蚀综合治理研究与应用[J]. 中国修船, 1998, (2): 23—26
- [8] BROPHY A J. Stress Corrosion Cracking of Austenitic Stainless Steels in Refinery Environments[J]. Materials Performance, 1974, 13(5): 9—15.

(上接第 84 页)

参考文献:

- [1] 张喜发, 卢兴华. 火炮烧蚀内弹道学[M]. 北京: 国防工业出版社, 2001
- [2] 付光甫, 侯运加, 陈成德. 火炮制造与验收[M]. 1982.
- [3] 崔秀梅, 张青锋. 火炮身管内径测量仪的结构设计[J]. 机械工程师, 2008(1): 53—54.
- [4] 傅建平, 张培林, 李国章. 火炮身管寿命分析与计算[J]. 军械工程学报, 2000, 12(1): 7—9.
- [5] 郑军, 徐春广, 肖定国, 等. 火炮身管内表面综合测量系统研究[J]. 北京理工大学学报, 2003, 23(6): 694—698.
- [6] 田桂军, 袁亚雄, 张小兵. 火炮寿命评估方法试验研究[J]. 南京理工大学学报, 2002, 26(6): 608—611.
- [7] 刘海平, 杜秀梅, 赵建新. 基于 DEFORM 的火炮膛线表面应力分析[J]. 火炮发射与控制学报, 2005, (2): 12—14.