

云爆战斗部密封接口机械结构设计研究

许志峰¹, 曹玉武¹, 王世英¹, 宋玉江¹, 顾晓峰²

(1.西安近代化学研究所, 陕西 西安, 710065; 2.西安百瀚机械设备有限公司, 陕西 西安, 710021)

摘 要: 为研究适合云爆战斗部 10a 存储条件的密封接口结构, 针对不同材料不同结构密封圈的密封接口, 在内压力 0.6MPa 条件下进行了密封性测试。密封实验结果表明: 使用矩形截面聚四氟乙烯密封圈可以实现密封圈与零件完全贴合; 选择密封圈既要考虑材料具有恰当的弹性模量, 还要考虑密封圈在内压力作用下, 与零件贴合更紧密而非脱离。本研究可为云爆战斗部密封设计提供参考。

关键词: 云爆战斗部; 密封; 密封圈; 燃料; 聚四氟乙烯

中图分类号: TJ450.4 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2020.02.010

Research on the Design of Mechanical Structure of Sealing Interface of Cloud Explosive Warhead

XU Zhi-feng¹, CAO Yu-wu¹, WANG Shi-ying¹, SONG Yu-jiang¹, GU Xiao-feng²

(1.Xi'an Modern Chemistry Research Institute, Xi'an, 710065; 2. Xi'an Baihan Mechanical Equipment Co.Ltd., Xi'an, 710021)

Abstract: To design the sealing interface structure suitable for ten-year storage condition of cloud explosive warhead, through comparing the sealing performance of sealing interface with different materials and different structures under 0.6MPa internal pressure, the rectangular section teflon sealing ring was determined, to meet the sealing performance requirement under the condition of internal pressure. The seal design is needed to achieve a complete fit between the sealing ring and the parts, and is necessary to consider that the material has appropriate elastic modulus. This conclusion could provide a reference for the seal design of the warhead.

Key words: Fuel air explosive warhead; Seal; Sealing ring; Fuel; PTFE

云爆战斗部内部装填高能液相燃料,通过中心固相炸药爆炸驱动作用,高能液相燃料被抛撒到空气中,在空气的对流运动过程中发生雾化现象。高能液相燃料雾化成气相并与空气充分混合^[1-4],再经二次起爆,气相的燃料与空气混合物发生爆轰,具有冲量高、作用时间长等特点^[5-6],可达到多倍 TNT 当量,是典型的高威力武器^[7-8]。

云爆战斗部内部装填的高能燃料属于液相,因此,云爆战斗部中与高能燃料接触的各个部位都需具有密封性。关于战斗部系统的密封设计,国内外开展

了大量研究。常新龙等^[9]对导弹密封件在温度、湿度、臭氧和盐雾环境下的失效机理进行研究,研究结果表明,导弹常用密封材料橡胶老化中最普遍、最重要的是热氧老化和低温老化,根据失效机理,先后研制了氟橡胶、硅橡胶、乙丙橡胶、高顺丁橡胶等新胶种,提高了橡胶材料的环境适应性。赵晋宏等^[10]对鱼雷密封材料的使用寿命进行研究,研究结果表明,广泛采用的橡胶密封件在加工、使用、贮存和运输过程中易受环境条件的影响而老化变质,改进的各种橡胶密封材料使用期限可较大幅度提高,这些橡胶密封件装入

收稿日期: 2020-03-27

作者简介: 许志峰 (1984-), 男, 高级工程师, 主要从事战斗部结构工艺研究。

基金项目: 国家重大专项基金 (编号: 995-14021005020401)

产品并在雷箱内贮存条件下,其使用期限均可提高至6a。上述研究针对的流体材料都是不具有强腐蚀性的,而云爆战斗部内部装填的高能液相燃料具有强腐蚀性,各种橡胶材料均与其发生化学反应而失效,关于适合于云爆战斗部使用,且具有10a存储条件的密封接口机械结构设计研究尚未见公开报道。

云爆战斗部在武器平台上应用时,需满足至少10a的存储条件,本文通过对比不同材料不同结构密封圈的密封接口在内压力条件下是否满足密封性,研究适合云爆战斗部10a存储条件的密封接口结构。

1 密封接口结构设计

云爆战斗部内部装填的高能燃料中的部分组分,如环氧丙烷,具有强大的腐蚀性,常规的橡胶材料与其发生化学反应。

首先进行相容性证明,将各种金属与非金属材料浸泡在高能燃料中,加热至70℃,保温72h,然后检查材料是否被腐蚀。实验结果表明,只有部分金属如铝、铜,和部分非金属如聚四氟乙烯,和高能燃料完全不发生反应,满足10a存储条件。本次实验选择铜和聚四氟乙烯2种材料的密封圈,这两种材料弹性模量较低,在相同压力下变形较大,作为密封圈可以和密封接口更好地贴合,有利于密封。

高能燃料具有热膨胀系数大、饱和蒸汽压大的特点,热膨胀系数约为0.001/℃数量级,饱和蒸汽压大约为0.1MPa数量级,因此,高能燃料在云爆战斗部壳体中会对战斗部壳体内腔造成一定内应力,云爆战斗部密封接口在一定内应力下仍需满足密封性。本次实验在密封接口内部加入0.6MPa的气压,考核密封结构是否泄漏。选择气压的原因是:一方面简单方便,另一方面气体分子比燃料分子体积小,加入气压不泄漏,液体也不会泄漏。该压力比云爆战斗部实际状态内压力大,为加严考核。

云爆战斗部为回转体,所有密封接口都采用回转体结构设计,本次实验采用的密封接口为端面密封,密封槽尺寸、2种密封圈结构如图1所示。

图1中矩形截面密封圈加工简单,但是密封圈与

密封接口接触面积大,相同压力下,压强低,变形小。而平行四边形截面密封圈虽然加工复杂,但是密封圈与密封接口接触面积小,相同压力下,压强大,变形大,作为密封圈可以和密封接口更好地贴合,有利于密封。

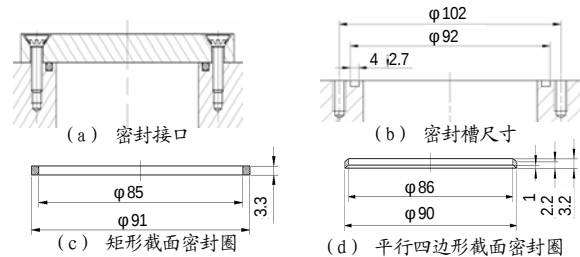


图1 密封结构
Fig.1 Sealing structure

2 密封实验结果与分析

选择紫铜、聚四氟乙烯为密封圈材料,设计矩形截面与平行四边形截面的密封圈进行密封实验,密封实验结果如表1所示。

表1 不同密封圈的密封实验结果

密封圈材料	密封圈结构	内压力/MPa	实验结果
紫铜	矩形截面	0.6	泄漏
紫铜	平行四边形截面	0.6	泄漏
聚四氟乙烯	矩形截面	0.6	密封完好
聚四氟乙烯	平行四边形截面	0.6	泄漏

对4种密封圈的密封实验结果进行分析:(1)使用矩形截面紫铜密封圈发生泄漏,其原因为2个零件接触后,由于接触面不是绝对平整,接触面只是若干点接触,接触不上的地方就会泄漏。密封材料通常弹性模量较小,如橡胶的弹性模量为7.8MPa,而铜的压缩量为108MPa,在相同的压力下,弹性模量越大,弹性变形量越小,越难以实现足够的弹性变形,因而造成接触面不能完全贴合,从而发生泄漏。(2)使用平行四边形截面紫铜密封圈发生泄漏,其原因为:由于铜的弹性模量较大,在相同的压力下,弹性模量越大,弹性变形量越小,接触面不能完全贴合,容易发生泄漏。截面由矩形变换为平行四边形,密封圈上下端与密封接口由面接触改为线接触,在相同的压力下,接触面面积减小,接触压强越大,弹性变形增大,接触面贴合的程度增大。但仍发生泄漏,一种原因是对铜密封圈的挤压应力不够,未达到足够的弹性变形,接触面不能完全贴合,发生泄漏,另一种原因与

平行四边形截面聚四氟乙烯密封圈实验情况相同,以下详细分析。(3)使用矩形截面聚四氟乙烯密封圈密封完好,分析原因为:铜的弹性模量较大,在相同的压力下,弹性模量越大,弹性变形量越小,越难以实现足够的弹性变形,接触面不能完全贴合,容易发生泄漏。将密封圈材料由紫铜换为聚四氟乙烯,聚四氟乙烯的弹性模量为 60MPa,弹性模量减小,相同压力下的弹性变形量增大,接触面贴合的程度增大,实现了密封。(4)使用平行四边形截面聚四氟乙烯密封圈发生泄漏,分析原因为:为了进一步提高接触面贴合的程度,密封圈材料仍为聚四氟乙烯,但截面由矩形换为平行四边形,密封圈上下端与机械接口由面接触改为线接触,在相同的压力下,接触面面积减小,接触压强增大,弹性变形增大,接触面完全贴合的程度增大,本应密封效果更好。但实验过程中发生泄漏,可能的原因之一为当密封接口内部存在内压力的时候,平行四边形截面聚四氟乙烯密封圈会在内压力方向上相应地变形,既发生向外侧翻转的变形,翻转变形后,密封圈下端与密封接口存在间隙,从而发生泄漏。而矩形截面聚四氟乙烯密封圈在内部存在压力时,由于密封圈内圆柱面在内压力作用下没有翻转的力矩,而有径向宽度变小、轴向尺寸相应变大的变形,轴向尺寸变大会使得密封圈与密封接口接触的力更大,相互挤压程度更大,接触面完全贴合,更容易实现密封。

3 结论

密封接口机械结构设计主要考虑密封圈与机械接口实现完全贴合,为了达到这个目的,一方面要求

密封圈材料具有恰当的弹性模量,密封圈与机械接口贴合时,才会发生足够的弹性变形,实现贴合;另一方面要考虑密封圈结构在内压力作用下的变形,需要与机械接口零件贴合更紧密而非脱离。本次实验的 4 种密封圈中,矩形截面聚四氟乙烯密封圈实验过程中密封完好。这一结论可为云爆战斗部密封接口结构设计提供参考。

参考文献:

- [1] 惠君明,FAE 燃料抛撒与云雾状态的控制[J].火炸药学报,1999 (1):10-13 .
- [2] 惠君明,刘荣海,彭金华,等.燃料空气炸药威力的评价方法[J].含能材料,1996,4 (3):123-128 .
- [3] 熊祖钊,白春华,张奇,等.FAE 武器威力评价方法探讨[J].爆破,2001,18 (2):83-86 .
- [4] 贵大勇,刘吉平,冯顺山.几种典型燃料空气炸药威力性能研究[J].含能材料,2002,10 (3):121-124 .
- [5] 张鹏,朱平安,马翰宇,等.炮射云爆战斗部二次起爆时间的试验研究[J].火炸药学报,2008,31 (5):55-58 .
- [6] 高洪泉,卢芳云,王少龙,等.云爆弹结构对爆炸威力影响规律的试验研究[J].弹道学报,2010,22 (4):58-61 .
- [7] 郭学永.云爆战斗部基础技术研究[D].南京:南京理工大学,2006 .
- [8] 王芳,冯顺山.FAE 战斗部毁伤威力评价的试验研究[J].爆炸与冲击,2006,26 (2):179-182 .
- [9] 常新龙,姜帆,惠亚军.导弹橡胶密封件环境失效研究[J].装备环境工程,2011,8 (4):59-62 .
- [10] 赵晋宏,令狐喜欢,靳登攀.鱼雷武器橡胶密封件使用期限分析[J].鱼雷技术,2005,13 (1):26-29 .