

文章编号: 1003-1480(2022)06-0019-04

# 一种基于心轴结构的集成一体化活塞抛撒系统

唐 镜<sup>1</sup>, 吴天勇<sup>2</sup>, 刘开国<sup>2</sup>

(1.湖南工业职业技术学院, 湖南 长沙, 410208; 2.湖南云箭集团有限公司, 湖南 长沙, 410137)

**摘要:**为实现较高的子弹抛撒速度,同时减小活塞抛撒系统的质量,设计了基于心轴的集成一体化活塞抛撒结构。分别采用单燃烧室活塞抛撒和一体化活塞抛撒2种结构,选取不同抛撒参数进行地面抛撒试验,并对比分析地面抛撒试验结果。结果表明:相同抛撒参数下一体化活塞抛撒较单燃烧室活塞抛撒可获得相对较高的子弹抛撒速度,满足指标要求。研究表明该燃气活塞抛撒系统可应用于子母弹抛撒领域。

**关键词:** 子母弹; 心轴; 燃气活塞抛撒; 抛撒速度

**中图分类号:** TJ414.45 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1003-1480.2022.06.004

## An Integrated Piston Dispersing System Based on Mandrel Structure

TANG Jing<sup>1</sup>, WU Tian-yong<sup>2</sup>, LIU Kai-guo<sup>2</sup>

(1.Hunan Industry Polytechnic, Changsha, 410208; 2.Hunan Vanguard Group Co.Ltd., Changsha, 410137)

**Abstract:** In order to achieve a higher bullet dispersing speed and reduce the mass of piston dispersing system, an integrated piston dispersing structure based on mandrel was designed. Two structures of single combustion chamber piston dispersion and integrated piston dispersion were adopted, and different dispersion parameters were selected for ground dispersion test, as well as the results of the ground dispersion test were compared and analyzed. It can be seen that under the same dispersion parameters, the integrated piston dispersion can obtain a relatively higher bullet dispersing speed than the single combustion chamber piston dispersion, which meets the index requirements. The gas piston dispersion system can be applied to the field of shrapnel dispersion.

**Key words:** Dispenser bomb; Mandrel; Gas piston dispersing; Dispersing velocity

子母弹又称集束式弹药,一般由母弹和子弹组成,母弹被投放或发射到目标区域附近,母弹弹体打开后抛撒子弹,将子弹撒布在预定的目标区域,达到面杀伤毁伤目的。为了实现对目标的高效毁伤,子弹抛撒应达到合理的散布要求,即子弹能覆盖一定的面积区域,达到合理的散布密度要求,且子弹在散布区域尽可能实现均匀分布,同时抛撒过程中子弹作用性能应不受影响。要达到上述要求,必须使用合适的抛

撒系统,因此在子母弹研制过程中,母弹抛撒系统设计至关重要<sup>[1]</sup>。

目前,子母弹抛撒一般有机械能和化学能抛撒两类。机械能抛撒系统有气动抛撒、惯性抛撒;化学能抛撒有燃气活塞抛撒、燃气气囊抛撒、中心膨胀抛撒等<sup>[1]</sup>。气动抛撒是依靠空气动力将子弹抛撒出去,这种抛撒系统子弹落点分布形状无法控制且攻击范围较小,不适合抛撒较大的子弹。惯性抛撒通过离心惯

收稿日期: 2022-07-22

作者简介: 唐镜(1982-),男,高级工程师,从事子母弹抛撒技术研究。

通讯作者: 吴天勇(1978-),男,高级工程师,从事子母弹总体技术研究。

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(2021JJ60033)。

性力抛撒,在低空或超低空不易大范围散布。燃气气囊抛撒是利用火药燃烧产生的高压气体使气囊膨胀,当气囊内压力达到一定值时,克服子弹约束装置的压力,使约束装置断开,将子弹抛撒出舱。该抛撒系统可抛撒各种不同质量的子弹,可形成多种落点分布,但高温下气囊易损坏、可靠性低。中心膨胀抛撒是利用火药燃气使波纹管膨胀抛撒子弹,该抛撒系统能量转换率较高,机构体积较小,可使子弹均匀散布,但成本较高<sup>[1]</sup>。

燃气活塞抛撒是利用火药燃气推动活塞做功抛撒子弹,该抛撒系统可抛撒大型子弹,能得到可控、均匀的子弹落点散布,抛撒机构原理简单,利于集成一体化设计,成本较低<sup>[1]</sup>。为了满足抛撒系统技术指标要求,笔者设计了一种结构简单、质量轻、抛撒速度高的燃气活塞抛撒系统。

## 1 活塞抛撒技术

活塞抛撒系统一般由燃烧室、气缸、活塞等组成。活塞抛撒系统工作原理为火药被点燃后在燃烧室内燃烧产生高压气体,当燃气压力达到活塞启动压力时,推动活塞和子弹一起运动,子弹以一定的初始速度抛撒出舱。

活塞抛撒系统一般分为单燃烧室活塞抛撒系统和双燃烧室活塞抛撒系统<sup>[2]</sup>,见图1~2。

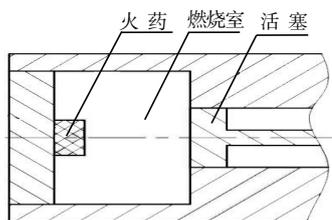


图1 单燃烧室活塞抛撒

Fig.1 Piston dispersing with one combustion chamber

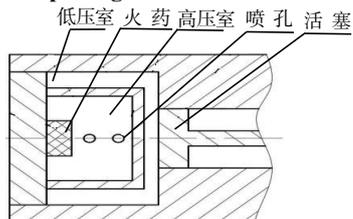


图2 双燃烧室活塞抛撒

Fig.2 Piston dispersing with two combustion chambers

图1所示的单燃烧室活塞抛撒系统中,火药被点

燃后在燃烧室内燃烧,当燃气压力达到一定值时,解除活塞启动约束,高压燃气进入活塞室推动活塞将子弹抛撒出舱。对于燃速较快的火药,由于产生的初始压力峰值过高,可能导致初始时刻子弹承受较大冲击过载,而对于燃速较慢的火药,子弹受力较理想,但容易出现火药未燃尽能量转换率低的问题,对火药的设计要求较高<sup>[2]</sup>。

图2所示的双燃烧室活塞抛撒系统中,火药被点燃后燃烧产生的高压燃气储存于高压室中,当燃气压力达到低压室开启压力时,高压室喷孔打开,高压燃气进入低压室,当低压室燃气压力达到一定值时,解除活塞启动约束,推动活塞将子弹抛撒出舱。由于利用了高压室使火药快速燃烧和喷孔的限流作用,使得低压室的压力变化稳定且初始峰值比单燃烧室要低,相对较低的低压室压力推动子弹运动,降低了子弹所受的冲击,而且使火药充分燃烧,无剩药现象,与单燃烧室相比,对火药的设计要求相对较低。双燃烧室的不足之处是较单燃烧室结构复杂,且重量大<sup>[2]</sup>。

因此,活塞式抛撒应通过控制火药燃速和形状的设计提高火药的使用效率,避免火药残留,并简化燃烧室结构,以减小整个活塞机构的质量<sup>[3]</sup>。

## 2 活塞抛撒系统设计

### 2.1 主要技术指标

活塞抛撒系统工作要求为1个弹巢抛撒5颗子弹,每颗子弹重量12kg,同一弹巢上中下层子弹抛撒速度按大小顺序呈梯度分布,分别不低于 $20\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $12\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 、 $6\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,同一抛撒单元子弹出舱同步性不超过5ms。活塞抛撒系统结构尺寸在 $300\text{mm}\times 200\text{mm}\times 150\text{mm}$ 的包络范围内。

### 2.2 一体化活塞抛撒结构

根据技术指标要求,结合活塞抛撒的特点,为简化燃烧室结构,设计了一种基于心轴的集成一体化活塞抛撒结构,以实现子弹较高的抛撒速度,见图3。

图3中,火药被点燃后燃烧产生的高压燃气储存于高压室中,当燃气压力达到低压室开启压力时,膜片断裂,高压燃气进入低压室,燃气压力达到一定值

时,燃气通过气道输送至活塞室,解除活塞启动约束,推动活塞将子弹抛撒出舱。

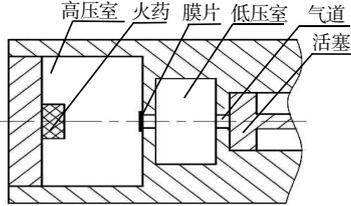


图3 集成一体化活塞抛撒结构  
Fig.3 Integrated piston dispersing structure

### 2.3 技术特点

在相同抛撒参数条件下,通过分析对比单燃烧室活塞抛撒和一体化活塞抛撒工作原理,得到燃烧室压力大致变化趋势,如图4所示。

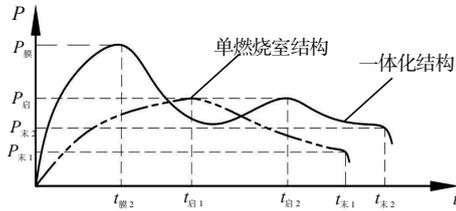


图4 燃烧室压力变化趋势图

Fig.4 Trend chart of combustion chamber pressure change

图4中,  $P_{膜}$ 、 $P_{启}$ 、 $P_{末}$ 分别为膜片断裂时压力、活塞启动时压力、抛撒末期压力,  $t_{膜}$ 、 $t_{启}$ 、 $t_{末}$ 分别为膜片断裂时间、活塞启动时间、抛撒结束时间。通过分析活塞抛撒工作原理可知,抛撒末期压力  $P_{末2} > P_{末1}$ , 抛撒结束时间  $t_{末2} > t_{末1}$ , 且  $(t_{末2} - t_{启2}) < (t_{末1} - t_{启1})$ , 故抛撒速度  $v_2 > v_1$ 。原因在于一体化活塞抛撒通过低压室储存更多燃气,当活塞启动扩容时,压力下降较单燃烧室活塞抛撒小,作用于活塞的燃气压力更高;假设燃气推动活塞运动为理想的匀加速运动,运用加速度位移公式分析运动过程,可知子弹抛撒速度与燃气压力平方根成正比,燃气推动活塞运动时间为毫秒级,虽然作用时间变短,但抛撒速度会更大。

一体化活塞抛撒结构的显著特点是集成化程度高、结构相对简单,重量与单燃烧室活塞抛撒相当,火药能充分燃烧,能量转换率高,对火药的设计要求相对较低;同时可以通过调节火药药量、火药燃速、膜片断裂时机、活塞启动时机等参数灵活调节抛撒速度。

### 2.4 活塞抛撒系统设计原则

活塞抛撒系统设计应遵循以下原则:一般采用双

活塞平衡推动子弹,见图5。2个活塞室应同步对称进气,保证2个活塞同步推动子弹出舱,避免子弹在抛撒运动过程中卡死。

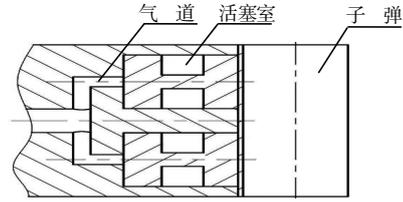


图5 对称进气示意图

Fig.5 Schematic drawing of the symmetrical structure

同一个抛撒回路中多个气道应同步对称进气,避免时间差过大造成一路活塞已运动到位而另一路活塞未运动到位,影响子弹出舱同步性。燃气泄漏对子弹抛撒速度的影响显著,应严格将泄漏面积控制在较小范围<sup>[4]</sup>,气密性直接影响活塞抛撒系统工作可靠性。因此,活塞和活塞室装配配合采用IT6~IT8级间隙配合,并安装橡胶密封圈,产品装配时还应进行气密性试验,验证气密性性能。

抛撒过程中,子弹应顺利分开,不出现重叠碰撞现象<sup>[5]</sup>,抛撒系统应无多余物抛出,减少对子弹出舱后工作流程的影响。通过内弹道仿真计算,为火药药量、系统容积、膜片断裂压力、活塞启动压力、活塞直径、活塞行程等抛撒参数的设计提供参考。

### 2.5 心轴设计

心轴是子母弹承重框架的主要组成部分,传统心轴一般为镂空状零件,其功能仅为承受和传递产品载荷。本心轴采用一体化集成设计,集成了3个抛撒单元,每个单元的燃烧室、燃气通道、活塞室互相连通,但3个单元之间相互独立,每个单元的气路通道在空间结构上错开;心轴采用高强度合金材料精密加工制成,不仅具有承受和传递载荷功能,还是安装抛放火药、活塞、膜片等部件并完成活塞抛撒动作的功能母体,见图6。

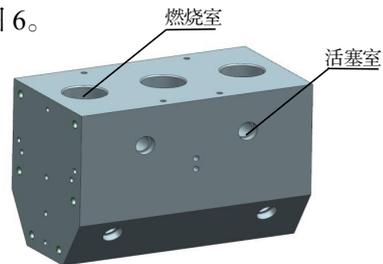


图6 心轴示意图  
Fig.6 The mandrel

### 3 地面抛撒试验

本燃气活塞抛撒系统有3套相互独立的活塞抛撒单元,可分别抛撒上中下层子弹。为对比单燃烧室活塞抛撒和一体化活塞抛撒2种结构,选取不同抛撒参数进行地面抛撒试验,见图7,单燃烧室结构和一体化结构的燃烧室(高压室)容积均为36mL,一体化结构的低压室容积为15mL。用高速运动分析系统观测子弹运动轨迹并计算子弹抛撒速度,试验数据及对比分析见表1~2。

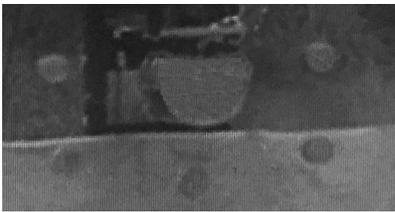


图7 地面抛撒试验瞬间

Fig.7 Moment of ground dispersing test

表1 不同抛撒参数下的试验数据

Tab.1 Test data under different dispersing parameters

位置	抛撒结构	药量/g	活塞直径/mm	约束弹箍拉断力/kN	左右侧抛撒速度/(m·s <sup>-1</sup> )	
上层	单燃烧室结构	5	20	4	13.47	12.86
	一体化结构	5	20	4	18.83	18.83
	单燃烧室结构	10	25	4	15.19	14.81
	一体化结构	10	25	4	21.86	22.02
中层	单燃烧室结构	5	20	3	10.62	10.01
	一体化结构	5	20	3	13.91	13.91
下层	单燃烧室结构	5	20	2	5.09	-
	一体化结构	5	20	2	8.76	-

表2 试验数据对比分析

Tab.2 Comparative analysis of test data

位置	抛撒结构	左右侧抛撒速度/(m·s <sup>-1</sup> )	左右侧抛撒速度差/(m·s <sup>-1</sup> )	左右侧子弹出舱时间差/ms
上层	单燃烧室结构	13.47 12.86	0.61	3
	一体化结构	18.83 18.83	0	1
	单燃烧室结构	15.19 14.81	0.38	2
	一体化结构	21.86 22.02	0.16	2
中层	单燃烧室结构	10.62 10.01	0.61	2
	一体化结构	13.91 13.91	0	1
下层	单燃烧室结构	5.09	-	-
	一体化结构	8.76	-	-

对比分析地面抛撒试验结果可知:在相同抛撒参数下,一体化活塞抛撒的抛撒速度高于单燃烧室活塞

抛撒的抛撒速度,能够满足指标要求。选取不同的抛撒火药药量、活塞直径、约束弹箍拉断力等抛撒参数可获得不同的子弹抛撒速度。

分析高速运动观测视频发现子弹出舱后方向性好,姿态平稳;抛撒后无其他多余物飞出。同一抛撒单元左右侧子弹抛撒速度差最大为0.61m·s<sup>-1</sup>、出舱时间差最大为3ms。相比单燃烧室结构,设计的一体化结构的燃气活塞抛撒系统的抛撒速度差更小,出舱同步性更好。

### 4 结论

(1)设计了一种基于心轴的燃气活塞抛撒结构,在相同抛撒参数下,一体化燃气活塞抛撒较单燃烧室活塞抛撒可获得相对较高的子弹抛撒速度,同时重量与单燃烧室活塞抛撒相当。

(2)燃气活塞抛撒同一抛撒单元左右侧子弹抛撒速度差最大为0.61m·s<sup>-1</sup>,出舱时间差最大为3ms,相比单燃烧室结构设计,一体化结构设计的抛撒速度差更小、出舱同步性更好。

(3)该燃气活塞抛撒系统实现子弹抛撒速度最高达到22m·s<sup>-1</sup>,可应用于子母弹抛撒领域。

#### 参考文献:

- [1] 王在成,姜春兰,蔡汉文.机载布撒器子弹药抛撒系统总体技术研究[J].2000(2):27-28.
- [2] 张本,陆军.子母弹抛撒技术综述[J].四川兵工学报,2006(3):26-29.
- [3] 李纬航,高禹,朱万杰,等.浅谈子母弹抛撒技术[C]//OSEC首届兵器工程大会论文集.重庆:兵器装备工程学报编辑部,2017.
- [4] 孙传杰,冯高鹏,朱永清,等.燃气泄漏对火药燃气多活塞抛撒的影响研究[J].弹箭与制导学报,2016,36(06):88-91,96.
- [5] 张珂.子母弹抛撒技术研究[D].南京:南京理工大学,2013.