

doi: 10.7690/bgzdh.2015.03.001

## 炮口制退器现状及其发展趋势

岳明凯, 刘欣宁

(沈阳理工大学装备工程学院, 沈阳 110159)

**摘要:** 作为火炮反后坐装置之一, 炮口制退器是减少火炮发射时对炮架作用力的有效途径, 可有效降低火炮后坐动能和炮架的射击载荷, 其研制水平是影响火炮系统射击精度和机动性能的关键。通过分析炮口制退器的基本原理和类型, 根据当今各国制退器的发展及应用现状, 总结了研究炮口制退器所需的关键技术, 预测了其未来的发展趋势。为有效提高炮口制退器的效率并减小其有害作用的影响, 保证精度和射击效率的匹配性, 需要在充分利用理论研究、实验研究等相关技术的基础上继续加以完善。

**关键词:** 炮口制退器; 关键技术; 发展

**中图分类号:** TJ303 **文献标志码:** A

## Situation and Development of Muzzle Brake

Yue Mingkai, Liu Xinning

(School of Equipment Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110159, China)

**Abstract:** As one of the artillery recoil device, the muzzle brake is used to reduce the launch force to the carriage, which can effectively reduce the recoil momentum and fire load. The research of muzzle brake is a key point to artillery system firing accuracy and maneuverability. This paper analyzes the fundamentals and types of muzzle brake, summarizes the key technology of its research according to the development and application status all over the world, and forecasts its future development trend. Theoretical research and experimental research of relevant technologies need to be further perfected to improve the efficiency of the system of the muzzle brake, reduce its harmful effects, and guarantee the accuracy and the matching of the firing efficiency.

**Keywords:** muzzle brake; key technology; development

### 0 引言

火炮发射时产生大量高温高压火药气体, 会对炮架产生强冲击载荷, 影响武器的射击精度和机动性能。炮口装置中最常用的炮口制退器是通过控制后效作用期火药气体流量分配和气流速度, 产生向前的冲量, 为炮身提供一个制退力, 使作用到后坐部分的冲量减少。炮口制退器可有效降低火炮后坐动能和炮架的射击载荷, 是减少火炮发射时对炮架作用力的途径之一。由于炮口制退器的结构简单、易加工生产、易实现反后坐效果, 是目前应用较为广泛的反后坐装置之一, 所以各国都竞相开展炮口制退器的研究。

### 1 炮口制退器类型及作用

炮口制退器是安装在身管炮口处的圆筒形短附件, 有一个与膛腔同心的膛孔和若干个气室。目前常见的炮口制退器种类繁多, 按照结构形式可分为冲击式炮口制退器、反作用式炮口制退器及冲击反作用式炮口制退器; 按照火药气体在制退器内的膨胀度可分为开腔式炮口制退器和半开腔式炮口制退器; 按照制造方法可分为组装型炮口制退器、挤压

型炮口制退器、铸造型炮口制退器和实心锻造型炮口制退器。下面按结构形式分别加以阐述。

冲击式炮口制退器也称开腔式炮口制退器, 其腔室直径较大(一般不小于 2 倍火炮口径), 两侧孔面积较大, 前方的反射挡板有一定角度(如图 1(a)所示)。弹丸出炮口后, 高压火药气体流入空间较大的制退器腔室中, 先沿轴向加速膨胀, 之后除小部分中心附近气体经由中央弹孔流出外, 大部分火药气体冲击反射挡板, 改变流动方向, 然后从侧孔流出, 产生制退力。

反作用式炮口制退器腔室直径较小(一般不超过 1.3 倍火炮口径), 没有或只有很小的前反射挡板, 侧孔多排布置(如图 1(b)所示)。由于腔室较小, 火药气体进入制退器腔室后没有较大膨胀, 压力仍保持在较高水平, 一部分气体继续沿中央弹孔向前流出, 其余部分气体经侧向扩张喷孔后二次膨胀排出。

冲击反作用式炮口制退器兼具冲击式和反作用式 2 种炮口制退器的结构特点, 它的腔室直径较大(大于 1.3 倍火炮口径), 侧孔呈分散的圆形或长条形分布(如图 1(c))。火药气体进入腔室经第一次膨胀加速后, 因其腔室面积的制约, 气流无法直接膨

收稿日期: 2014-09-30; 修回日期: 2014-11-07

作者简介: 岳明凯(1971—), 男, 辽宁人, 硕士, 教授, 从事目标探测与毁伤研究。

胀到实现压力大幅下降, 所以气体会在侧孔处二次膨胀加速, 此外两侧孔还起到分配流量的作用<sup>[1]</sup>。



(a) 冲击式炮口制退器



(b) 反作用式炮口制退器



(c) 冲击反作用式炮口制退器

图 1 几种类型的炮口制退器

在火炮射击弹丸飞出炮口的过程中, 随着膛内火药气体不断向外高速喷射出, 火药气体仍对火炮产生作用力。这一作用力对炮身的后效作用显著(火药气体在后效期对炮身作用的冲量约占火炮总后坐冲量的 20%), 因此应尽量减少该时期火药气体对炮身的作用。炮口制退器作为一种控制和利用后效期膛口火药气体、实现减小后坐能量或削弱有害效应的炮口装置可以实现这一目的(见表 1)<sup>[2]</sup>。

表 1 炮口制退器的作用

火炮类型	无制退器平均后坐力 $F_{R\text{平均}}/\text{kN}$	效率 $\eta/\%$	有制退器平均后坐力 $F_{R\text{平均}}/\text{kN}$
57 mm 高射炮	7.33	38	4.54
100 mm 高射炮	18.32	35	11.91
85 mm 加农炮	7.02	58	2.95
130 mm 加农炮	41.30	30	28.91

炮口制退器的作用主要是减小后坐动能, 并以

此来减小火炮总质量和减短后坐行程; 同时易于采用统一的炮架, 在保证自由后坐动能相等的基础上, 可以在同一种炮架上安装威力不同的身管, 即可用如下等式表述:

$$\frac{1}{2} m_{h1} W_{T1}^2 = \frac{1}{2} m_{h2} W_{T2}^2 \quad (1)$$

其中:  $m_{h1}$ 、 $m_{h2}$  分别为后坐部分质量;  $W_{T1}$ 、 $W_{T2}$  分别为带炮口制退器时后效期结束点自由后坐速度。

## 2 炮口制退器发展及现状

世界上第一个炮口制退器出现于 1842 年, 它由法国人制造, 且结构非常简单, 即只是在身管靠近炮口处的位置上加工出一组向后倾斜的侧孔。1863 年法国人专门为 106 mm 火炮研制了炮口制退器, 该制退器由 36 个直径 6 mm, 向后倾斜 45° 的侧孔构成。它对提高火炮射击精度及减小后坐力方面的影响力经实验得以验证, 这标志着炮口制退器在火炮上应用的开始。随后随着火炮的不断发展, 炮口制退器被广泛应用于榴弹炮、加农炮、高射炮、车载炮和航炮等。在第一次世界大战和第二次世界大战期间, 炮口制退器的概念开始流行, 多国开始积极投入研究, 促使种类多样的炮口制退器开始出现并广泛地应用于火炮与自动武器中。20 世纪 60 年代之后, 随着现代战场对火炮威力及机动性要求的提高, 制退器不仅需要实现制退效果, 还要兼顾消焰、除噪等功能, 如苏联 AK74 5.45 mm 突击步枪和美国 M14A1 7.62 mm 步枪上安装的制退器等<sup>[3]</sup>。20 世纪 70 年代, 有限差分法被应用到含炮口制退器膛口流场的数值模拟研究中, 推进了炮口制退器的研制和优化。自 20 世纪末以来, 国外在反后坐领域不断深入进行研究, 炮口制退器作为消除后坐力的有效途径, 已经得到了越来越广泛的应用。

2000 年法国制造的“凯撒”6×6 式 155 mm 自行榴弹炮(如图 2 所示), 身管前段装有一个双室炮口制退器, 该制退器属于冲击式炮口制退器, 可以吸收部分后坐能量, 实现后坐力高效降低, 减小炮架载荷的角度, 保证身管的稳定和安全。



图 2 法国“凯撒”155 mm 自行榴弹炮

德国莱茵金属武器与弹药公司研制的 RH105-20 型 105 mm 滑膛坦克炮上采用多隔室炮口制退器(如图 3 所示)。该种制退器属冲击型炮口制退器,可充分利用腔室内小部分经由中央弹孔喷出的气流,实现后坐力约 35%以上的大幅度减弱。



图 3 德国 RH105-20 型 105 mm 滑膛坦克炮

德国莱茵金属武器与弹药公司的 Rh120 LLR L/47 式 120 mm 滑膛坦克炮(如图 4 所示)在 2004 年进行了射击试验。为了减小后坐力,该炮安装有新型后坐系统,其后坐行程延长到 635 mm,其后坐冲击力仅为 21.3 kN。该炮带有冲击反作用式炮口制退器,制退器上安装有多槽套筒。试验证明在该炮口制退器和多槽式套筒的共同作用下,能够有效控制和引导炮口气流,使火药气体的气流方向被严格限制在炮口制退器的两侧,没有激起地面上的尘土和扬尘,该火炮可降低后坐力达 44%。

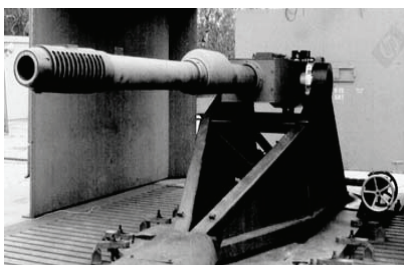


图 4 德国 L/47 式 120 mm 滑膛坦克炮

俄罗斯生产的“联盟-SV”火炮上装备的主武器是两门长身管的 152 mm 火炮(如图 5 所示),具有射速高、弹药供应量大、火力强、越野机动性好以及生存能力强等多项优良性能。火炮的每个身管上都有一个“胡椒瓶”状炮口制退器(即在身管末端开有圆形侧孔,属于冲击反作用式炮口制退器),兼具冲击式和反作用式 2 类制退器的特点,达到火药气体分流和膨胀减压的效果。

美国 M777 式 155 mm 轻型牵引榴弹炮(如图 6 所示)上装备冲击式炮口制退器,该炮通过炮口牵引,牵引环与炮口制退器连为一体。在制退器的作用下火药废气向火炮两侧排出,极大减轻了对后方操作人员的伤害。



图 5 俄罗斯“联盟-SV”自行火炮



图 6 美国 M777 式 155 mm 轻型牵引榴弹炮

美国 M109A6“帕拉丁”155 mm 自行榴弹炮(如图 7 所示)由 M109A2/A3 改造而成,是 M109 自行榴弹炮系列的最新改进型。该自行火炮采用 M284 式 39 倍口径 155 mm 加农炮,安装在 M182 型炮架上。该火炮装有双室冲击式炮口制退器和排烟装置,制退同时兼有消烟效果,实现了制退器的功能扩展。



图 7 美国 M109A6 帕拉丁 155 mm 自行榴弹炮

南非 G-6 式自行榴弹炮的火炮由 G-5 式 155 mm 加农榴弹炮改进而成,二者外观上的区别是 G-6 式火炮身管在离炮口 1/3 处装有抽气装置,用以抽出火炮射击时膛内的火药燃气,以减少进入制退器腔室中的火药气体。该型火炮炮口处采用与 G-5 式相同的蘑菇状炮口制退器(图 8 为 G-6 自行榴弹炮发射瞬间,火药气体从炮口制退器向两侧喷出)。

南非 G-7 牵引式 105 mm 榴弹炮(如图 9 所示)的炮口制退器采用反冲制退方式(火药气体从制退器侧孔向身管后方排出,赋予炮身一个向前的推力,从而抵消部分后坐力,否则大架和驻退机很难承受 155 mm 榴弹发射产生的巨大后坐力)。通常情况下,炮口制退器不参与炮弹发射,只起减弱后坐的作用,但 G-7 式在炮口制退器也刻上膛线,使其成为身管



的一部分, 通过该种手段来提高火炮射程。



图 8 南非 G-6 式自行榴弹炮



图 9 南非 G-7 牵引式 105 mm 榴弹炮

2013 年 10 月, 日本推出了 105 mm 机动战车 (MCV) 样车 (如图 10 所示), 该 8×8 轮式车辆有高水平战略机动性和火力, 可由海陆空三军迅速部署。机动战车的炮塔安装在车体后部, 装备的 105 mm 线膛炮配有冲击反作用式炮口制退器、隔热套管和排烟装置, 可共同作用引导射击时火药气体的排出, 并减少后坐动能。



图 10 日本 105 mm 机动战车

各国现役炮口制退器的应用特点如表 2 所示。

表 2 各国现役炮口制退器的应用及特点

国家	制退器类型	应用火炮	特点
法国	冲击式	凯撒 155 mm 自行榴弹炮	吸收部分后坐能量, 高效降低后坐力, 减小炮架载荷角度, 保证身管的稳定和安全。
德国	冲击式	RH105-20 型 105 mm 滑膛炮	后坐力可降低 35%。
德国	冲击反作用式	Rh120 LLR L/47 式 120 mm 滑膛炮	火炮废气的气流方向被严格限制在炮口制退器的两侧, 不激起地面尘土和扬尘, 后坐力降低 44%。
俄罗斯	冲击反作用式	“联盟-SV” 152 mm 自行火炮	使火药气体侧向分流和膨胀减压。
美国	冲击式	M777 式 155mm 轻型牵引榴弹炮	牵引环与炮口制退器连为一体, 火药废气向火炮两侧排出, 减轻人员伤害。
美国	冲击式	M109A6 式 155mm 自行火炮	制退与排烟效果结合, 实现了制退器的功能扩展。
南非	冲击式	G-6 式自行榴弹炮	炮口 1/3 处有抽气装置, 抽出射击时膛内的火药燃气, 减少进入制退器腔室的火药气体总量。
南非	冲击反作用式	G-7 牵引式 105 mm 榴弹炮	制退器也刻上膛线, 成为身管的一部分, 以提高火炮射程。
日本	冲击反作用式	105 mm 机动战车	身管前段装备炮口制退器、隔热套管和排烟装置。

### 3 炮口制退器研究关键技术分析

#### 3.1 效率优化技术

由于炮口制退器的存在改变了膛口流场内典型特征的变化过程, 加剧了炮口气流现象的复杂性, 使得单纯通过理论方法计算其效率难以实现。为了在设计中保证计算的准确性, 目前主要的工程计算方法均为半经验半理论方法, 如改进的奥尔洛夫方法、斯鲁霍斯基方法、美国工程手册方法。这几种方法都是针对某一具体火炮类型的设计, 存在一定的局限性, 并不通用于全部类型的制退器<sup>[4-5]</sup>。改进的奥尔洛夫方法包含影响因素多, 计算繁琐, 原则上可适用各种不同类型的炮口制退器, 但在具体应

用中可能对某些类型炮口制退器的计算存在较大误差; 斯鲁霍斯基方法只抓主要因素, 忽略了部分次要因素的影响, 导致计算略显粗糙, 因此仅局限于冲击式炮口制退器的使用; 美国工程手册方法考虑了炮口制退器侧孔中火药气体的二次膨胀现象, 多用于反作用式炮口制退器的计算。

#### 3.2 高效低危害技术

使用炮口制退器可实现火炮后坐能量的降低, 但也会产生一些危害, 如火药气体从炮口制退器喷出后会导致火炮能见度下降并可能暴露阵地。此外, 炮口制退器造成的噪声和冲击波超压对炮手的伤害也不容忽视。

从结构上讲,增大炮口装置的膛内空间,通过调整腔室结构及侧孔的形状、大小、方向或数量,来改变火药气体流动方向和速度等是降低危害性的一条可靠技术途径。通过采用径向分流技术尽可能多地使火药气体在制退器内分流出来,延长腔室内火药气体的滞留时间,使其能量更多地被损耗掉,其作用就是使腔室流出的气体压力减小,有害副效应也能得到较好的抑制;亦可通过纵向截流技术减少或延缓气体从炮口喷出,这样副效应就能从根本上得以消除<sup>[6]</sup>。径向分流滞止和纵向截流滞止2种技术途径,已经有试验证明了在枪口装置上的可行性,但在火炮尤其是中大口径火炮上,炮口制退器高效率低危害技术的进一步发展,仍需要实践的鉴定才能得出合理可行的方案<sup>[7]</sup>。

### 3.3 数值模拟仿真技术

目前炮口制退器的研究方法主要分为理论方法、试验方法和数值计算方法3类。由于火炮后效期膛口流场的复杂性,使膛口流场的理论研究难以开展。现在实际使用的理论研究方法都是经大量假设和简化后推导得出的,适用范围和计算精度存在一定的局限性;试验方法研究炮口制退器虽然准确可靠,但研究中不可避免会产生高成本投入;数值仿真计算方法计算应用范围广,计算精度较高,可节省大量的人力和物力资源,是目前炮口制退器特性的主流研究手段,但它自身也存在局限性。火炮发射时,弹丸从被击发到离开炮口经历的时间虽然很短,但是炮口制退器的流场作用却十分复杂,涉及到反后坐理论、内弹道理论、外弹道理论及空气动力学理论等等,控制方程和流场模型的建立需要技术人员具备一定的专业素养。此外,在流体力学数值计算方面,尤其是在流体计算商用软件方面,英美等发达国家的研究要比国内先进许多,如ANSYS FUEENT、ANSYS CFX、STAR-CD等,而国内目前鲜有开发完善、应用广泛的商用流体力学仿真软件<sup>[8]</sup>。

### 3.4 材料性能强化技术

炮口制退器可采用多种不同的制造方法进行加工,加工方法不同,制造出的炮口制退器制退效率和寿命也不尽相同。早期炮口制退器多采用铸造工艺加工,但铸件材料的塑性和冲击韧性很难满足要求,所以未能广泛投入使用。若为了保证材料的塑性而使用塑性变形毛坯加工,虽然塑性可达到标准,

却无法保证材料的利用率(仅能达到40%作用),加工成本较高。如果改变材料并改用锻造加工工艺,就可以提高材料的强度和塑性,同时为火炮减载。

现有的研究表明:使用钛合金作为炮口制退器的材料,在同一强度条件下可较大程度减轻制退器质量。制造时,对粗加工后的铸造毛坯进行加工,使其塑形变形成具有一定形状的精坯,再对精坯加工,既可改善工件力学性能,又能提升材料利用率,降低生产成本<sup>[9]</sup>。

## 4 炮口制退器的发展趋势

### 4.1 进一步优化结构

建立集合多种计算方法于一体的制退器效率求解方法,使其适用于不同类型炮口制退器的求解计算,应成为相关研究领域关注的焦点。该方法的开发将能显著提高炮口制退器理论分析的精确性,避免研制过程的多次反复和工程设计的多次修改,提高研发工作的效率和效益。高效的炮口制退器可以使火炮的结构更加紧凑,更加轻量化,从而降低生产成本,提高机动性,并提高战斗生存能力。因此炮口制退器效率计算方法的优化就成为目前理论研究迫切需要解决的问题之一。

### 4.2 抑制有害效应

炮口制退器效率最高可以实现后坐力减少近70%,但是伴随炮口制退器效率的提升和火炮威力的加大,冲击波和噪声等对周围环境的危害也会随之加剧,容易引起制退器断裂、地面扬尘严重和炮口风暴过大等问题。因此实现炮口制退器的高效率与低危害性的协调,也是在炮口制退器研发使用过程中必须要重视的限制性因素之一。降低制退器有害效应的技术途径很多。通过正确的理论分析,采取合理的技术方法,制约炮口制退器的有害效应是完全可以实现的。目前对于制退器有害效应的控制和改善缺乏一个完整的理论体系,还需进一步深入探索。

### 4.3 提高数值模拟仿真能力

炮口制退器结构设计中的影响因素很多,对火炮而言,主要有炮管强度及截面积、膛压、射速、弹种、装药量、火药后效时间及火药后效变化率等,这些因素通常没有精确的计算公式,大多依靠经验公式和试验测定。此外,不同的使用环境也会对炮口制退器形式的选择造成影响。

因此,在炮口制退器的设计中大力推广使用仿真技术,不仅可以对火炮发射后的炮口流场分布进行更加精准直观的分析,还可以评价测试所设计的炮口制退器的结构性能,对缩短研制周期、节约研发经费都具有重大意义<sup>[10]</sup>。未来使用数值模拟进行炮口制退器的分析会成为炮口制退器研究的主要趋势,如何在简化数值模拟计算的同时保证计算结果的精确可靠性有待更多的探讨。

#### 4.4 大力开发新型材料

炮口制退器的材料多采用铸钢件,质量较大,使用中易使炮身产生弯曲变形,会直接影响到火炮发射的精度和稳定性。合理选取材料可以极大地改善材料的力学性能,延长炮口制退器的使用寿命,实现制退器的轻量化,改善因制退器材料所导致的火炮机动性的降低。在考虑材料的同时离不开对制造技术的研究,发展先进的加工制造技术可以解决复杂构件的加工困难,缩短产品的研制周期和生产费用,更可以提高产品的质量。因此,研究新型结构材料(如复合材料、纳米材料、陶瓷材料等)和功能材料(如记忆合金材料、隐身材料等)<sup>[11]</sup>的制造工艺及其在火炮和构件上的应用,是目前需要及早攻克的难题之一。

#### 4.5 打造多功能融合

炮口制退器在使用中会引起冲击波和噪声等危害,还有可能在战场上暴露己方阵地。炮口装置中的消焰器可以有效降低气流的温度及减小冲击波,避免射击位置的暴露;消声器可以减小炮口气流噪声对炮手的不利影响。因此,在炮口装置的设计中,综合考虑各类装置的优缺点并加以利用,实现制退器的多功能化方向发展是大势所趋。现阶段由于某些技术条件的限制,制退器多功能融合技术的发展仍存在困难。

#### 4.6 实现多技术融合

炮口制退器是降低火炮后坐动能的主要技术之一,其他常用降低火炮后坐力的技术还包括前冲技术、超长和串联超长后坐技术、二维后坐技术、无后坐力技术和膨胀波减小后坐力技术、电(磁)流变技术等<sup>[12]</sup>。这些技术手段各有所长,也会存在一定的局限性,在火炮设计应用实际中,需要解决一

系列的缺陷。如何将这些方法进行科学合理的融合,在设计中提出相容性较好的降级后坐力的技术方案,获得最佳的反后坐效果,对现代火炮火力系统的研究和发展具有重要的意义。

## 5 结束语

作为降低火炮后坐力的技术方法之一,炮口制退器目前已经在各类火炮和自动武器上得到广泛应用。在现代火炮设计中,若想有效提高炮口制退器的效率并减小其有害作用的影响,保证精度和射击效率的匹配性,需要充分利用理论研究、实验研究和虚拟仿真研究等多种方法相结合,在效率优化技术、高效低危害技术、数值模拟仿真技术和材料性能强化技术的基础上继续加以完善。随着结构优化、有害效应消除、仿真能力提高、新材料开发、多功能及多技术融合等领域研究的不断深入,未来火炮与自动武器的发展中,炮口制退器的综合性能将会得到大幅度提高。

## 参考文献:

- [1] 马福球,陈运生,朵英贤.火炮与自动武器[M].北京:北京理工大学出版社,2003:232-243.
- [2] 高跃飞.火炮反后坐装置设计[M].北京:国防工业出版社,2010:212-215.
- [3] 王秉义.膛口装置之——制退器篇[J].轻武器,2002(9):44-46.
- [4] 杜中华,狄长春.某型炮口制退器结构优化研究[J].机械工程师,2009(9):68-70.
- [5] 曹锋,刘树华,郭文凤.炮口制退器的计算机辅助优化设计[J].四川兵工学报,2004(1):19-20.
- [6] 王永河,张世全,赵静,等.炮口制退器高效率低危害技术探讨[J].火炮发射与控制学报,2007(9):37-39.
- [7] 谭兴良,孔德仁.膛口抑制技术[M].北京:兵器工业出版社,1995:188-206.
- [8] 张辉,谭俊杰.基于CFD的炮口制退器效率计算[J].弹道学报,2009,21(2):75-77.
- [9] 李保成,赵家萍,张治民.钛合金炮口制退器铸造—挤压成形强化技术研究[J].兵器材料科学与工程,2006(4):45-47.
- [10] 袁俊.仿真系统与导弹武器的研制、试验和评估[J].飞航导弹,2004(4):47-51.
- [11] 钱开耘,陈英硕,王蒙.飞航导弹先进材料技术[J].飞航导弹,2009(2):55-58.
- [12] 谈乐斌,侯保林,陈卫民.降低火炮后坐力技术概述[J].火炮发射与控制学报,2006(4):69-71.