

炮口裝置

國防工業出版社

炮 口 装 置

邱凤昌、张月林 译

邱凤昌 校

国防工业出版社

1974

A 384932

译 序

本书是根据美国陆军器材部出版的工程设计手册火炮丛书的“炮口装置”(《Engineering design handbook》Guns series “Muzzle devices”)一书译出的。书中阐述了各种炮口装置的工作原理和发展现状,分章介绍了炮口制退器、冲击波偏转器、消焰器、消烟器、消声器和炮膛抽气装置的设计和计算方法。最后一章还简要的归纳了炮口冲击波对人体损伤的研究情况,并给出了一些参考数据。

从本书中可部分地了解美国在火炮炮口装置方面的理论研究状况和设计水平。但是书中给出的数据较少,计算结果又常与实验结果相差较大,而且论述与公式运算都比较简略。考虑到目前有关这方面的资料较少,因此将本书译出,供从事火炮研究、设计、生产以及教学方面的人员参考。

由于我们的水平所限,书中有不妥和错误之处,恳请读者批评指正。

目 录

符号表	5
第一章 引言	13
1-1 目的	13
1-2 范围	13
1-3 炮口装置概述	14
1-3.1 炮口制退器	14
1-3.2 冲击波偏转器	19
1-3.3 消焰器	23
1-3.4 消烟器	27
1-3.5 消声器	29
1-3.6 炮膛抽气装置	30
第二章 炮口气流	32
2-1 炮口气体的现象	32
2-2 火炮冲击波扬起的灰尘	37
2-3 炮口气流力学	37
2-4 炮口气体动量	39
第三章 炮口制退器	41
3-1 炮口气体偏转理论	41
3-1.1 喷管气流	41
3-1.2 推力计算	43
3-2 性能计算	51
3-2.1 冲量	51
3-2.2 炮口制退器的效率	53
3-2.3 对后座的影响	57
3-3 特殊类型炮口制退器的分析	60
3-3.1 闭式炮口制退器	60
3-3.2 开式炮口制退器	62
3-3.3 自由表面炮口制退器	68
第四章 冲击波偏转器	72
4-1 设计方法	72

4-2 冲击波场超压的分析	72
4-2.1 方法的讨论	72
4-2.2 作超压分析的数字计算机程序	79
第五章 消焰器	86
5-1 性能要求	86
5-1.1 炮口混合气体的温度计算	89
5-1.2 计算炮口气体温度的数字计算机程序	91
5-1.3 叉形消焰器的长度	95
5-2 锥形消焰器	98
5-3 计算消焰器外形的数字计算机程序	99
第六章 消烟器	102
6-1 消烟器的组成	102
6-1.1 分流器的设计方法	103
6-1.2 壳体设计	110
6-1.3 过滤器填料的物质	110
第七章 炮膛抽气装置	112
7-1 综合设计参数	112
7-2 固定喷口的设计参量	114
7-3 单向阀的设计参量	119
7-4 实例	122
7-4.1 固定式喷口	122
7-4.2 单向阀	124
第八章 消声器	126
8-1 一般要求	126
8-2 消声器试验	127
第九章 人体因素	129
9-1 引言	129
9-2 冲击波和超压的作用	129
9-2.1 生理作用	130
9-2.2 容许极限	138
英文名词解释	144
参考文献	151

符 号 表

- A ——炮膛面积；
 A_b ——炮口装置的弹丸通道面积；
 A_e ——反射面通道的出口面积；
 A_h ——消烟器壁的通孔面积；
 A_i ——反射面通道的入口面积；
 A_n ——总的喷口面积；
 A_o ——消焰器沟槽起始处的面积；
 A_P ——侧孔面积；
 A_{Pd} ——初始侧孔面积；
 A_{Pt} ——总侧孔面积；
 A_t ——总开放面积；
 a_o ——炮口气体的音速；
 B ——动量指数；
 B_e ——有效动量指数；
 B_r ——在任意给定时间火炮所受的冲量；
 C_f ——计算气体炮口温度的转换因数；
 C_n ——弹丸通道关闭的推力修正因数；
 C_{pa} ——空气的定压比热；
 C_{pg} ——炮口气体的定压比热；
 C_{pn} ——炮口气体混合物的定压比热， n 表示特定区域；
 C_r ——推力修正系数；

C_{va} ——空气的定容比热；

C_{vg} ——炮口气体的定容比热；

C_A ——考虑摩擦和湍流的推力修正因数；

D ——炮膛直径；

D_b ——排烟器分流器的直径；

D_e ——出口直径；

D_f ——炮口到波场某点的距离；

D_h ——排烟器壁的通孔的直径；

D_o ——炮口装置的弹丸通道直径；

db——分贝；

E ——能量；

E_f ——摩擦和挤进损失；

E_g ——气体的动能；

E_h ——身管热损失；

E_m ——炮口动能；

E_p ——弹丸动能；

E_r ——不带炮口制退器的自由后座能量；

E_{rs} ——带炮口制退器的自由后座能量；

E_{re} ——弹丸飞出时气体的热能；

F ——发射药的位能；

$F(\quad)$ —— $(\quad)$ 的函数；

$F'(\quad)$ —— $F(\quad)$ 的一阶导数；

F_a ——后座力；

F_b ——炮口制退器的力，推力；

F_{bx} ——炮口制退器的力， x 与反射面编号对应；

F_c —— $1400 \text{ 英-磅} / \text{BTU} / ^\circ \text{K}$ (转换因数)；

- F_{ct} ——另一侧激波中心分配在最大超压中的分量;
 F_m ——某反射面的最大瞬时力;
 F_n ——垂直于炮膛轴线的炮口制退器力;
 f_b ——某时刻某反射面的推力;
 f_n ——计算炮口制退器推力的修正系数;
 f_3 ——作为近似值引入的修正系数1.33;
 g ——重力加速度;
 H ——燃烧热;
 I_g ——炮口气体作用时期对火炮产生的冲量;
 I_t ——任意给定时间对炮口制退器的冲量;
 I_{mh} ——对炮口制退器的总冲量;
 I_n ——垂直于炮身轴线的对炮口制退器的冲量;
 I_r ——对后座部分的合成冲量;
 i ——至研究位置的侧孔组数;
 i_t ——通孔的总组数;
 j ——某序列中给定位置的注脚;
 K_{bx} ——表示计算炮口制退器力的各项数值的符号, x 对应反射面编号;
 $^{\circ}\text{K}$ ——凯氏温度;
 $k = \frac{\gamma - 1}{\gamma}$, γ 为比热的比值;
 L ——后座长度, 气室长度;
 L_b ——消焰器叉的长度;
 L_c ——锥的长度;
 L_d ——分流器长度;
 L_e ——相当长度;
 L_g ——炮口至耳轴的距离;

- L_n ——炮口至抽气装置喷口的距离；
 M ——炮口气体动量；
 $\dot{M}$ ——动量变化率；
 M_c ——火药气体质量；
 M_i ——有效质量；
 M_n ——炮口处的质量流量；
 M_p ——弹丸质量；
 M_r ——后座部分质量；
 M_{rh} ——包括炮口制退器的后座部分质量；
 m_g ——每秒流出炮口的气体质量；
 m_r ——不带炮口制退器的后座部分总动量；
 m_{rh} ——带炮口制退器的后座部分总动量；
 N_m ——消烟器某一排 i 的最大孔数；
 N_n ——消烟器某排 i 的实际孔数；
 ΣN ——消烟器到第 i 排前的总孔数；
 n ——反射面数；增速系数；喷孔数；克分子气体容积；
 n_e ——出口增速系数；
 n_{ei} ——第 i 排反射面的出口增速系数；
 n_i ——入口增速系数；
 n_j ——修正的增速系数；
 p ——压力；一般项；
 p_a ——大气压力；
 p_b ——膛底压力；
 p_d ——设计压力；
 p_{bi} ——弹丸飞出时的膛底压力；
 p_s ——表压，气体压力；

- p_o ——炮口压力，消焰器槽起点的压力；
 p_{oa} ——消焰器槽的起始点的压力极限；
 p_r ——炮膛抽气装置的最大理论工作压力；
 p_s ——滞止压力；
 Q ——流量；
 QE ——火炮的射角；
 R ——气体常数；
 $^{\circ}R$ ——兰金 (Rankine) 温度；
 R_i ——内半径；
 R_o ——外半径；
 R_p ——弹丸飞出时环境压力与炮口压力的比值；
 r ——空气与空气-气体混合物的质量比，炮膛半径；
 r_b ——反射面的外半径；
 r_e ——反射面处激波包络线的半径；
 r_i ——反射面入口面积与气流流动总面积之比；
 r_p ——弹丸通道半径；
 r_1 ——偏转气体的相对量；
 SPL ——声压级；
 T ——未作外功的火药气体温度，定容火焰温度；
 T_a ——周围空气的绝对温度；
 T_b ——弹丸从飞出到炮门打开之间的时间；
 T_f ——火焰温度；
 T_i ——喷射期时间；
 T_{ie} ——带单向阀的喷口喷射期时间；
 T_n ——用数字 n 指示的区域中炮口气体的计算温度；
 T_o ——弹丸飞出时的气体平均温度；

- T_s ——滞止温度；
 TTS ——暂时听觉阈漂移；
 T_x ——任意注脚表示的发射药点火温度；
 t ——时间；一般项；
 V_c ——药室容积；
 V_p ——弹丸和装药的容积；
 V_r ——炮膛抽气装置的贮气室容积；
 V_t ——炮膛总容积；
 v_f ——自由后座速度；
 v_0 ——初速；
 v_r ——后座部分速度；
 v_w ——风速；
 W_b ——流过弹丸通道的气体重量；炮口制退器的重量；
 W_c ——装药量；
 W_i ——通过反射面偏转的气体重量；
 W_{ig} ——点火药重量；
 W_p ——弹丸重量；
 W_r ——后座部分重量；
 W_{rb} ——带炮口制退器的后座部分重量；
 W_m ——动压力与静压力之比；
 w_s ——槽的周界宽度；
 x ——由膛底算起的距离；
 x_b ——气体从炮口到侧孔出口经过的距离；
 x_o ——从炮膛轴线到侧孔出口的横向距离；
 γ ——环境压力与滞止压力的比值；
 γ_o ——炮口压力与滞止压力的比值；

z_0 ——炮口到侧孔出口中心的轴向距离。

希腊字母

α ——反射面偏转角；

β_t ——炮口制退器的上偏转角；

γ ——比热的比值；

Δ ——膨胀比；

Δ_s ——弹丸通路与总有效面积之比；

Δ_{en} ——在反射面 n 的出口处气体膨胀度；

Δ_t ——反射面入口面积与总有效面积之比值；

Δ_{ti} ——任意反射面 i 处的比值 Δ_t ；

Δ_n ——自炮口到气流通道几处的气体膨胀度；

$\Delta\tau$ ——喷射时间因子；

δ ——以射击能量为函数的身管热损失；空气密度；

ϵ_a ——炮口制退器的实际效率；

ϵ_e ——后掠激波的效率；

ϵ_g ——炮口制退器的总效率；

ϵ_i ——炮口制退器的固有效率；

η ——余容；

θ ——气流方程中时间表示式的简化项；炮口压降时间，
从炮口到波场中某点的角距离；

θ_m ——最小炮闩打开时间；

λ ——合成增速系数；炮膛容积与贮气室容积的比值；

λ_d ——设计选用的炮膛与贮气室容积之比值；

λ_n ——反射面 n 的增速系数；

λ_u ——未校正的增速系数；

- ρ —— 排烟器侧孔面积与开放面积之比；
 ρ_a —— ρ 的实际值；空气的质量密度；
 ρ_d —— ρ 的理论设计值；
 ρ_s —— 进入排烟器过滤器的气体比例；
 Σ —— 总和；
 ϕ —— 喷孔的半角；炮口抽气装置喷口与炮膛轴线的夹角；
 χ —— 热传导系数；
 ψ —— 制退器气流的圆周膨胀度；
 ψ_1 —— 自由表面式制退器从水平板到底板间的圆周距离；
 ψ_2 —— 自由表面式制退器从水平板到顶板间的圆周距离；
 ψ_3 —— 自由表面式制退器底板的偏转角；
 ω —— 对垂直于炮膛轴线的力的增速系数；炮膛抽气装置喷口面积与炮膛面积之比值；
 ω_c —— 充气喷口面积与炮膛面积之比值；
 ω_d —— 炮膛抽气装置中 ω 的设计值；
 ω_{de} —— 排气喷口面积与炮膛面积之比值；
 ω_n —— 反射面 n 处正推力的增速系数；
 ω_u —— 对垂直于炮膛轴线的力的未校正的增速系数。

第一章 引 言

1-1 目 的

本手册对于：(1)进行基础的和实际的设计；(2)在选择、采用已有的设计或改进、重新设计炮口装置使之达到规定的性能方面，提供了方便的和现成的参考资料。

1-2 范 围

现代战争战术要求武器有高度的机动性，并借此使全体人员和装备从自己的武器方面得到更多的保护或免遭敌人更多的袭击。炮口装置可以减小作用在炮架上的力，因而可以有效地减小支撑构件的重量，提高武器的机动性。这种装置可减小或消除火炮发射时产生的可被探测到的现象，改善武器的荫蔽性。采用减小对人员干扰作用的装置，可以提高效率和士气。对炮口装置来说，所有这些特性都有一定的益处，每种不同的形式都有它自己的特性，也有一些装置可以兼有其它装置的作用。可惜不可能把任何两个装置要求的所有性能都集中到一个装置上，更不用说所有装置的性能。例如，炮口制退器可以减小炮口焰，但不能抑制噪声。有时虽然可以达到双重的目的，但对任一给定的炮口装置来说，不能混淆其本性或特殊的目的。

本手册介绍一些有关火炮性能的资料，并特别注意气体

在膛内和由炮口排出的性质，讨论这些气体有害和有利的作
用两方面，并叙述已有的装置如何减小有害方面和利用有利
方面。手册提供了简便可靠的设计方法和步骤，并说明了从
早期的概念到实际的检验方法，同时还包括对可靠性和资料
的评述。手册中包括了有关材料、制造、维护等方面的资料，
可供设计时参考。另外还附有为数字计算机编制的成熟的设计
步骤。

1-3 炮口装置概述

1-3.1 炮口制退器

1-3.1.1 历史

1888年(出现了反后座装置)以前,尽管当时缺乏发明炮
口制退器的条件,但在法国,1842年还是出现了第一个炮口
制退器。这个粗糙的形式是在身管的炮口区域开一组孔,它
向后倾斜使膨胀气体转向这个方向。二十一年以后,法国军
队在106毫米火炮上进行了试验。试验时在火炮身管上开有
36个直径6毫米向后倾斜 45° 的孔。由布利(de Beaulieu)所
发表的数据透露了此装置取得了巨大的成功:射击精度比原
来提高一倍,后座长减至正常情况的25%,并且初速损失仅
为6%。关于这些数据的可靠性和这些结果的精度虽然不能
完全相信(除非所有数据可信),但这第一次尝试已使炮口制
退器成为火炮实际的和有用的组成部分。

在第一次世界大战以前和战争期间,一些国家在提高设
计技术方面做了许多工作,出现了各种类型和大小不同的炮
口制退器,并进一步地激起了制造和试验新武器的兴趣。战

争结束前，拉蒂尤（Rateau）提出了它的理论，把科学原理应用于力学技术中，使炮口制退的设计合理化了。拉蒂尤理论至今仍然有效，成为我们现行理论和实际设计方法的基础。

1-3.1.2 目的

火炮发射时，燃烧的发射药和随后的气体是影响火炮构件和弹丸的唯一因素。在膛内时期，与发射药热力学过程相适应，弹丸产生惯性和摩擦阻力，弹丸离开炮口后就不再产生影响。另一方面，当弹丸被推进膛内和弹丸出炮口后，气体压力始终作用在身管上，直到它降至大气压力为止。作用于炮膛表面的压力互相平衡，不产生对外影响。压力作用于炮尾的持续时间虽短，但对身管产生一个冲量，它与作用于弹丸的冲量相等而方向相反，这个向后的冲量就是造成后座的原因，也是所有封闭炮尾火炮中不希望有的和可以控制的现象。有几种控制后座的方法：假如炮身刚性地固定在炮架上，并且基础上每一部分都保持不运动，则后座合力直接传递到基础上；假如火炮可以自由地运动，则冲量使活动部分获得一个向后的速度，然后再被制动住。阻力的幅值决定了后座长度。多数火炮都采用某种形式的反后座装置，从手提式武器依靠人的身体到大口径火炮应用精巧的反后座装置来提供阻力。反后座装置借助在较长时间持续的反作用力来缓冲火药气体的冲量，从而控制后座力。用炮口制退器减小后座动量，还可以进一步减小后座力。

1-3.1.3 概述

炮口制退器是与炮口相连接或与炮口构成一体的一个装置。通常，炮口制退器有一组垂直于或接近垂直于身管轴线的反射面，其底部通常是封闭的，以保护炮手不受外排气体

的危及与干扰；它保持对称的圆周负载，因而是平衡的；它的前部也是封闭的，只有侧面开放，气体撞击反射面之后可以从这里逸出。一些标准的炮口制退器结构以及其理论与实验，通过多年的应用已经有了发展。

1-3.1.4 工作原理

弹丸通过炮口的瞬时，火药气体不再受身管和弹丸的约束，它还有相应的压力和略高于弹丸的速度。如果没有别的装置，这部分气体就向空气中膨胀，压力逐渐下降达到大气压力。但是如果炮口装有炮口制退器，则产生了一系列其它情况：当弹丸通过炮口制退器时，在一定程度上继续沿轴向约束气流，而膨胀的气体沿反射面流向侧孔却只受很小的阻力，因而总的流动方向发生改变，合成后的气流方向不再前倾，而转向径向或甚至转向后方。气体要转到上述的方向，必须撞击反射面，这就产生了一个向前的推力，或者产生一个与后座动量方向相反的冲量，因此，炮口制退器的合成冲量使后座动量减少了。但是，当弹丸在膛内时期炮口制退器是不起作用的，而正是在这个时期后座部分几乎得到了它的全部动量。因此，炮口制退器不是用来防止产生后座动量，而是起减小后座动量的作用。

1-3.1.5 优点

炮口制退器的主要优点是它能减小后座部分的动量。这个优点的被利用程度，取决于对武器的要求。如果轻是主要指标，则要在保持通常允许的后座长度下选较小的后座力。对于坦克，空间更为重要，后座长度应该短一些，因而后座力较大，构件的重量就不容易减轻。

炮口制退器的其它优点是：在一定程度上能抑制炮口