

美国火炮反后坐装置的设计

高 弘 康 译

国防工业出版社

2

内 容 提 要

本书根据美国陆军器材与准备司令部出版的武器研究与发展工程设计手册炮架丛书的“后坐系统”一书译出。书中系统论述了反后坐装置的作用、动作原理；分析了几种典型反后坐装置的结构和特点；扼要地介绍了单一反后坐装置和双重反后坐装置的设计及计算方法。这对了解美国在反后坐装置方面的理论研究和设计水平具有一定的参考价值。本书可供从事兵器科研、设计及教学工作者学习及参考。

Carriages and Mounts Series Recoil Systems

U. S. Army Materiel Command

*

美国火炮反后坐装置的设计

高 弘 康 译

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 $1/32$ 印张 $4\frac{1}{2}$ 110千字

1982年4月第一版 1982年4月第一次印刷 印数：001—950册

统一书号：15034·2272 定价：0.58元

序 言

这本后坐系统手册是炮架系列丛书的一个组成部分。它介绍后坐系统的基本动作原理和后坐系统及其部件的设计。

福兰克林研究院根据杜克 (Duke) 大学的合同, 在军械武器司令部的技术指导下, 编写了本书的各个章节并提供插图。

目 录

附图目录	1
符号表	3
I 前言	9
A 概述	9
B 反后坐装置的作用	9
II 后坐系统	12
A 定义	12
B 主要部件的叙述	12
III 后坐循环的叙述	14
A 单一后坐系统的动作过程	14
B 双重后坐系统的动作过程	15
IV 反后坐装置的主要类型	15
A 液压弹簧式	15
B 气体液压式	16
C 复进缓冲器的类型	16
V 动作特性	16
A 概述	16
B 驻退机	17
C 液压弹簧式反后坐装置	18
D 气体液压式反后坐装置	20
E 普特奥克斯 (Puteaux) 式反后坐装置	21
F 施奈德 (Schneider) 式反后坐装置	24
G 菲娄克斯 (Filloux) 式反后坐装置	26
H 圣·柴蒙德 (St·Chamond) 式反后坐装置	28
I 双重后坐系统	28
VI 后坐系统的选择	30
A 概述	30
B 对后坐系统的要求	30

Ⅶ 初步设计数据	31
A 自由后坐速度	31
B 后坐力	31
C 复进机初始抗力	33
D 复进速度	34
E 缓冲力	35
Ⅷ 反后坐装置零件的设计	36
A 推荐材料	36
B 后坐活塞杆	36
C 后坐活塞	38
D 密封装置	38
E 别氏弹簧	40
F 驻退筒	41
G 气体液压式复进机	43
H 弹簧式复进机	44
I 复进缓冲器	44
J 浮动活塞	46
K 调节器	48
L 后坐节制阀	49
M 调节器阀门	51
N 制造过程	52
O 维修特性	52
Ⅸ 单一后坐系统的计算	53
A 火药气体力与时间曲线	53
B 后坐力的曲线	54
C 后坐计算	54
D 后坐过程中液体特性的分析	57
(1) 后坐力	57
(2) 漏口尺寸	59
(3) 液压系统的损失	61
(4) 液体的可压缩性	61
(5) 后坐节制阀的分析	64
E 复进计算	69

VI

X	同心式反后坐装置的设计	76
A	前言	76
B	同心式反后坐装置的型式	77
C	同心式反后坐装置的后坐计算	77
D	同心式反后坐装置的漏口设计	80
E	同心式反后坐装置的弹簧设计	82
XI	双重后坐系统的设计	83
A	前言	83
B	后坐力	84
C	动态分析程序	84
(1)	符号名称	85
(2)	详细讨论	86
XII	小口径武器的后坐系统	106
A	前言	106
B	环形弹簧的设计和动态特性	107
C	套筒制动器设计和动态特性	113
D	液压弹簧缓冲器的设计和动态特性	116
XIII	附加结构的设计特征	117
A	炮口制退器	117
B	液量指示器	118
C	调节器	119
XIV	单一后坐的简化计算	119
	参考文献	136

附 图 目 录

图 1	带反后坐装置（驻退机和复进机）的火炮	11
图 2	一般反后坐装置图表	13
图 3	液压弹簧式反后坐装置图表	13
图 4	气体液压式反后坐装置图表	13
图 5	反后坐装置制动曲线图	17
图 6	漏口面积的控制方法（右边为活塞剖开的截面）	19
图 7	液压弹簧式反后坐装置（示意图）	20
图 8	普特奥克斯式反后坐装置示意图	22
图 9	施奈德式反后坐装置	24
图10	菲娄克斯式反后坐装置	27
图11	圣·柴蒙德式反后坐装置	29
图12	后坐力系图	32
图13	活塞杆与炮尾环的连接	37
图14	典型密封装置图	39
图15	外部缓冲器	45
图16	内部缓冲器	45
图17	空气调节器	45
图18	浮动活塞	47
图19	活塞凸缘受力	47
图20	表明液体通路的调节器	48
图21	后坐节制阀	50
图22	调节器阀门（复进时阀门关闭）	51
图23	弹丸在膛内运动过程中火药气体力-时间曲线	55
图24	弹丸出炮口后火药气体力-衰减曲线	55
图25	作用在后坐部分上的力和反作用力	58
图26	反后坐装置的油腔	62

图27	复进力图	70
图28	复进过程中起作用的零件	72
图29	同心式反后坐装置 (同心弹簧式)	78
图30	同心式反后坐装置 (多筒式)	79
图31	带单独复进机的同心式反后坐装置	80
图32	力-时间和加速度-时间曲线	81
图33	后坐速度-时间曲线	81
图34	后坐速度-距离曲线	82
图35	带双重后坐机构的火炮	83
图36	双重后坐系统的初始力系	87
图37	双重后坐系统的力系图	90
图38	双重后坐系统的加速度图	91
图39	摇架上的负荷和反作用力	97
图40	整个环形弹簧及单个弹簧元件	107
图41	环形弹簧的常数和效率	111
图42	环形弹簧负荷-位移图	112
图43	类似环形弹簧的负荷-位移图	112
图44	套筒制动后坐缓冲器分解图	114
图45	套筒制动装置的力-摩擦关系图	114
图46	套筒制动缓冲器的力-位移图	116
图47	液量指示器	118
图48	注液器	119
图49	实例中的后坐力图	122

符 号 表

a	—— Δt 期间内平均后坐加速度
a_b	—— 缓冲期间加速度
a_c	—— 复进漏口面积
a_o	—— 后坐漏口面积
a_{ob}	—— 缓冲器漏口面积
a_r	—— 复进加速度
A	—— 后坐活塞的有效面积
A_1	—— 密封装置与筒壁的接触面积
A_b	—— 缓冲器活塞的有效面积
A_c	—— 控制杆的横截面积
A_{cr}	—— 复进活塞面积 (独立系统)
A_g	—— 炮管内膛面积
A_o	—— 后坐节制阀的圆周排液面积
A_r	—— 螺纹根部的面积
A_R	—— 复进机面积; 与浮动活塞面积相同
A_s	—— 阀门杆的根部面积
A_v	—— 节制阀的有效压力面积
b	—— 密封装置的宽度
c	—— 阀门头周围的开口
C_c	—— 复进漏口系数
C_o	—— 一般漏口或后坐漏口系数
D_1	—— 驻退筒内径
E_{cr}	—— 复进动能
E_r	—— 后坐动能
f_c	—— 驻退机和复进筒中密封装置的总摩擦阻力
f_{cr}	—— 复进过程中后坐漏口的液压阻力

- f_o ——除控制漏口以外的每个液流通路的液压阻力
- f_p ——密封装置总摩擦阻力
- f'_p ——密封装置组件的摩擦阻力
- f_r ——复进机内的密封装置摩擦阻力
- F ——后坐力
- F_1 ——复进机的初始抗力
- F'_1 ——复进静态阻力
- F_2 ——后坐终点的复进机力
- F_a ——后坐部分的净加速力或惯性力
- F_{ac} ——节流前有效复进力
- F_b ——总缓冲力
- F'_b ——缓冲器纯减速力
- F_{bc} ——复进漏口的液压阻力
- F_B ——别氏弹簧的初始负荷
- F_c ——后坐节制阀的螺旋弹簧力
- F'_c ——螺旋弹簧的初始负荷
- F_{cr} ——纯复进加速力
- F_{fc} ——复进过程中滑板摩擦阻力
- F_g ——火药气体力
- F_o ——驻退机的液压阻力
- F_p ——复进活塞力
- F_r ——复进活塞上的力
- F_R ——复进机力；与浮动活塞力相同
- F_s ——总的弹簧负荷；螺旋弹簧和别氏弹簧的合成负荷
- F'_s ——螺旋弹簧和别氏弹簧合成的初始弹簧负荷
- F_{s_2} ——接触缓冲器时的弹簧力
- F_θ ——筒中密封装置的径向力
- h ——速度头
- h_c ——螺旋弹簧作用下后坐节制阀的升高

- h_s ——两个弹簧同时作用下后坐节制阀的升高
 k ——应力集中系数
 K ——总后坐阻力
 K_a ——复进机弹性介质产生的阻力
 K_b ——后坐节制阀别氏弹簧刚度
 K_c ——后坐节制阀螺旋弹簧刚度
 K_f ——后坐过程中摇架滑板的摩擦阻力
 K_s ——总的弹簧刚度；螺旋弹簧和别氏弹簧的合成弹簧刚度
 K_p ——压力系数
 K_R ——驻退杆力
 L ——后坐长
 L_{cr} ——复进到接触缓冲器时的长度
 M ——弹丸和火药气体的质量当量
 M_b ——液体的体积弹性模量
 M_r ——后坐部分质量
 n ——多变指数
 n ——在规定范围内指示的数值
 $n-1$ ——预先规定范围指示的数值
 P ——驻退筒内的压力
 ΔP ——通过复进漏口的压力降
 P_{ac} ——通过复进漏口节制前的液压
 P_{ao} ——复进过程中通过后坐漏口节制前的液压
 P_o ——初始状态最小复进机压力
 P_1 ——后坐終了的气体压力
 P_2 ——接触缓冲器时的气体压力
 P_a ——密封装置的轴向压力
 P_b ——缓冲器压力
 P_g ——火药气体压力
 P_h ——通过漏口引起的压力升高

P_m ——最大液体压力

ΔP_o ——复进中通过后坐漏口的压力降

P_p ——检验（标准）压力

P_r ——复进机压力或弹簧的压力

P_R ——密封装置的径向压力

P_s ——在密封装置中由弹簧产生的轴向压力

P_x ——在任意后坐位置上的气体压力

P_o ——密封装置上的液体压力

Q ——液体流速

Q_c ——通过复进漏口的液体流速

Q_o ——复进过程中通过后坐漏口的液体流速

R ——辅助后坐力

S_b ——缓冲器工作长度

S_f ——安全系数

t ——时间

Δt ——时间变化

v ——后坐速度

Δv ——速度变化

v_a —— Δt 期间的平均速度

v_b ——缓冲时复进速度

v_f ——自由后坐最大速度

Δv_f ——自由后坐速度变化

v_{f1} ——在 t_1 时的自由后坐速度

v_{f2} ——在 t_2 时的自由后坐速度

v_m ——弹丸初速

v_o ——通过漏口的液流速度

v_r ——复进速度

Δv_r ——复进速度变化

v_K ——浮动活塞速度

V_0 ——气体初始体积

V_1 ——后坐終了的气体体积

V_2 ——接触缓冲器时气体体积

ΔV ——气体排量

w ——液体密度

W_{cr} ——复进时复进机内的有效能量

W_g ——火药重量

W_p ——弹丸重量

W_r ——后坐部分重量

W_s ——克服静止阻力需要的能量

x ——在时间 t 时的后坐距离

Δx —— Δt 期间的后坐距离

x_b ——在任意时间 t 时缓冲器移动的距离

x_e ——节制杆的位移

x_r ——在任意时间 t 时复进的距离

Δx_r —— Δt 期间复进的距离

θ ——仰角

λ ——稳定系数

μ ——摩擦系数

ν ——漏泄系数

ρ ——液体的质量密度

σ_r ——径向应力

σ_t ——抗张应力；圆周应力

σ_y ——屈服强度

τ_m ——最大剪切应力

注：双重后坐系统的专用符号列在149节，小口径武器的专用符号列在187节。

I 前 言

A 概述

1 本书是炮架系列工程设计手册的一个组成部分，它论述的是反后坐装置的设计。

B 反后坐装置的作用

2 反后坐装置的作用是通过延长火药气体力的作用时间来减小作用在炮架上的射击负荷。当火药气体的压力推动弹丸向炮口运动时，有一个大小相等方向相反的力作用在炮尾上，使得火炮后坐。反后坐装置的主要目的是使该力减小，并限制火炮的后坐运动。

3 后坐动力学是研究动量守恒的。根据力学，力的表达式为：

$$F = \frac{d(mv)}{dt} \quad (1)$$

式中 m ——质量；

v ——速度。

作用在两个独立物体上的力，是大小相等方向相反的。这样，上面方程式中相等的力是

$$F_1 = \frac{d(m_1 v_1)}{dt} = F_2 = \frac{d(m_2 v_2)}{dt} \quad (1a)$$

$$\text{和} \quad d(m_1 v_1) = d(m_2 v_2) \quad (1b)$$

积分得

$$m_1 v_1 = m_2 v_2 \quad (1c)$$

这个原理可直接应用于火炮的后坐运动，方程 (1c) 的一边表示后坐部分的动量，另一边表示反向运动的弹丸和火药气体的总动量。通过适当地变换方程式 (1c) 就可以确定未知数——自由后

坐速度。一旦求出这个速度，就能计算后坐部分的动能（见78节方程式3a）。目前，这种消耗后坐动能的方法是反后坐装置设计的唯一基础。

4 将炮管刚性地安装在炮架上是不可能的，然而对大口径火炮来说，其结构要承受的全部火药气体压力，可能会超过二百万磅。即使能够经受这么巨大的负荷，其结构必然特别庞大而又笨重。靠加宽基座来加强稳定性防止火炮的翻倒，那么基座就会很庞大。手枪和步枪就是根据这个概念设计的，但它们是依靠人体来提供后坐阻力的。

5 在较大武器的实际设计中，允许火炮后坐或向后运动一个规定的距离并对其施加预定的阻力。图1为带反后坐装置的火炮。反后坐装置的作用是有效地吸收后坐能量，然后使火炮复进到原始位置。巨大的后坐力作用时间极短，仅与火药气体压力的作用时间相当。为了限制炮架尺寸和重量，并利用相当小的发射基础能够达到稳定，需要延长后坐阻力的持续时间。

6 火药气体压力不直接作用于炮架上，而仅在后坐运动中加速炮身和其他后坐部分。后坐运动由预先确定的和控制的力阻止。这种阻力必需通过结构件来获得。这个力比原来火药气体压力小得多，因为它作用时间较长和有一个可观的距离。距离越长，阻力就越小。运动的阻力主要是通过反后坐装置和部分地由火炮滑板摩擦来提供。在第Ⅷ章的D·1和D·2部分中将对这个运动作详细分析。

7 后坐距离和后坐阻力的乘积是后坐能量，它是反后座装置设计的主要准则。当火炮发射时，后坐立即开始。后坐能量是在火药气体压力作用时的极短时间内增加的。该能量可通过几个途径消耗掉，即（1）结构变形储存少量能量，通常可以忽略不计；（2）通过火炮-滑板摩擦吸收一些能量；（3）绝大部分是由反后坐装置吸收的；（4）在复进机中储存足够的能量使火炮复进到位。

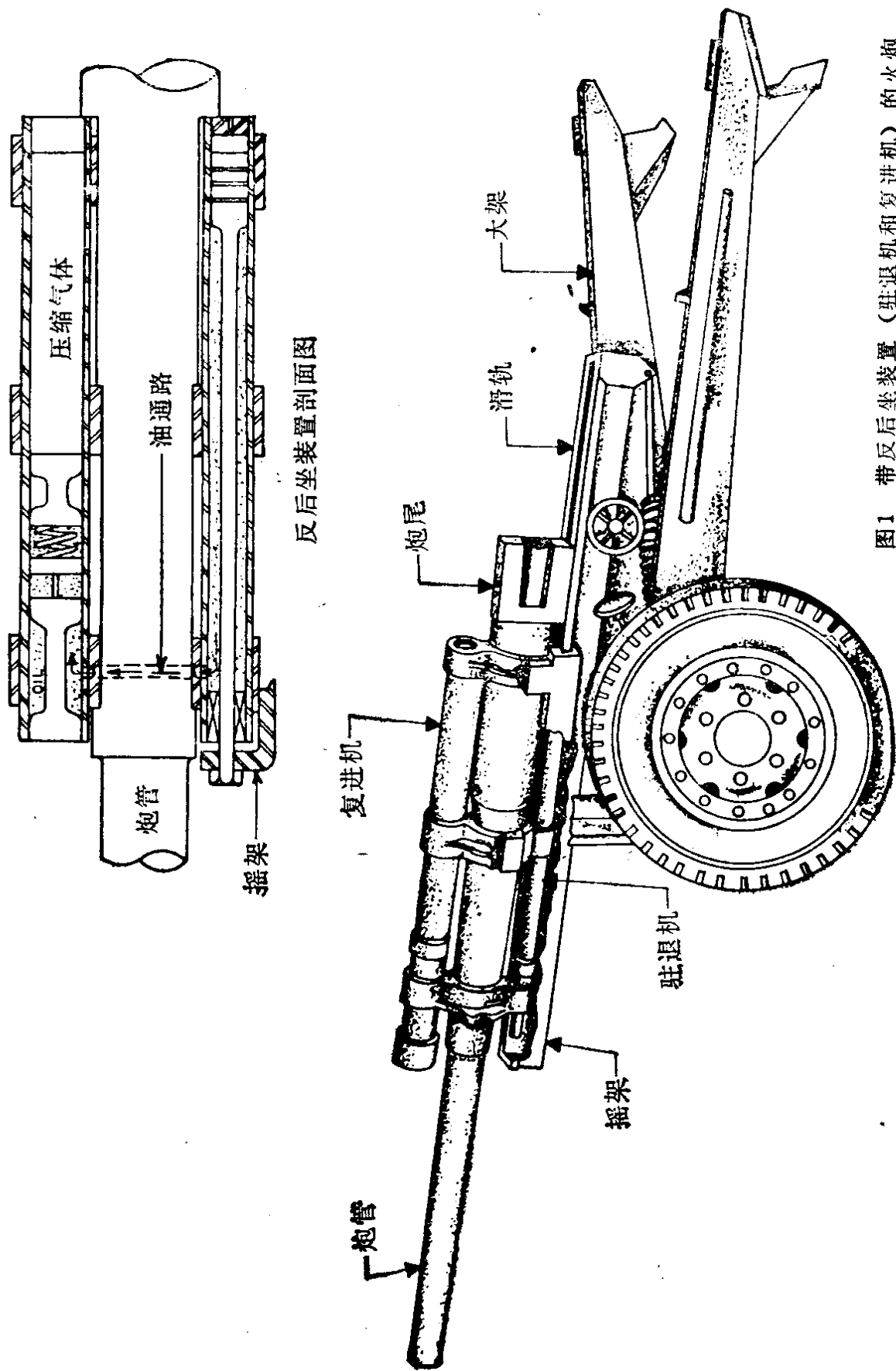


图1 带反后坐装置（驻退机和复进机）的火炮