

炮身构造与设计



Б. В. 奥尔洛夫
〔苏〕 Э. К. 拉尔曼 编著
В. Г. 马利科夫
王天槐 刘淑华 译
马福球 梁树人 校



国防工业出版社

内 容 简 介

本书讲述火炮炮身和炮门的构造与设计的理论基础。

书中对现代炮身、炮尾、炮门、半自动机，以及炮口装置的典型结构形式作了介绍，同时对其计算方法也作了阐述。

身管的发热与冷却对其强度和寿命的影响，以及炮身的振动与弯曲对动载强度和射击密集度的影响，本书都给予着重的阐述。

本书可供高等学校学生使用，也可供从事现代火炮设计和使用的技术人员参考。

Устройство и проектирование стволов артиллерийских орудий

Б. В. Орлов

Э. К. Ларман

В. Г. Маликов

Издательство «Машиностроение», 1976г.

*

炮身构造与设计

Б. В. 奥尔洛夫

〔苏〕 Э. К. 拉尔曼 编著

В. Г. 马利科夫

王天槐 刘淑华 译

马福球 梁树人 校

*

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 $13\frac{3}{4}$ 349千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷 印数： 001— 900册

统一书号：15034·2285 定价：1.70元

出版说明

本书反映了苏联七十年代炮身设计的部分方法，与我们翻译出版过的苏联Э. К. Ларман 著的《火炮设计与制造》(1949 年版) 及 В. Г. Маликов 著的《炮身构造与设计》(1957 年版) 两本书比较有新的内容。其特点是：身管强度设计采用了新的设计规范，如计算公式简化、温度范围加大 ($\pm 50^{\circ}\text{C}$)、略去一些次要因素（如护膛剂影响）及对一些参数（如安全系数）作了修改；增加了身管在抽气装置区域的强度计算和配合面带开槽的层间冷却身管的计算方法以及筒紧（二层）身管采用不同理论的诺模图；增加了用麦克劳林级数展开曲线的方程解决膛线作用力突变问题；增加了炮口装置、抽气装置以及输弹机的结构分析及计算方法；后面一般都附有例题。原书的“绪言”中技术内容不多，故删去。本书的翻译出版，期望能对我国从事这方面工作的同志有一定的参考价值。

为了提高本书的质量，在出版之前，我们请华东工程学院韩育礼、戴成勋、李洪志和邬显达同志对译稿进行了审校。审校的同志对公式、例题均进行了推导和验算，并尽可能地对原书中的错误作了改正，但对某些改变后牵连面较大的，只进行了标注。

译 序

为了加速实现我国的四个现代化，我们翻译了苏联《炮身构造与设计》一书。这是一本教科书，可供高等学校教学之用，也可供有关从事火炮研究、设计和使用的同志参考。

本书对现代火炮的炮身、炮闩、炮尾、半自动机，以及输弹机、炮口制退器和抽气装置等的结构和设计的理论基础进行了比较系统、详细的论述，并用大量的公式推导，同时附有典型的计算例题。根据现代科学技术的发展，补充了一些新的内容。但某些公式没有交待清楚其来龙去脉，主要是热传导和空气动力学方面的基础理论，需要读者自己弥补。

原书错误较多，特别是某些公式和举例。我们在翻译的过程中对发现的错误和不妥之处都作了更正。为了不使译文显得杂乱，对更正之处未一一加注。由于我们的水平有限，在译稿中肯定还存在一些错误和缺点，诚恳地希望广大读者批评指正。

付中、梁禾、朱正钦、朱继明和王毅等同志，看过译稿中的某些章节，提出了许多宝贵意见，谨在此表示感谢。

序

现代炮兵科学和技术的发展,给火炮专家们提出了一系列如何继续提高各种用途之火炮的战斗和使用性能的新任务。在这种情况下,就需要研究火炮炮身设计理论和实际结构的一些新课题,例如,高膛压的应用对提高弹丸的初速和射程,身管的发热与冷却对其强度、寿命和射击精度的影响等等。

书中介绍了火炮、现代火炮炮身和炮闩的结构与构造所需的各种知识。

本书与H. Φ. 德洛日道夫教授的经典著作《火炮强度及其构造》(1932年出版)和Θ. K. 拉尔曼的《火炮设计与制造》(第一册《炮身与炮闩设计》1949年出版)不同,它较详细地研究了炮尾、炮闩、半自动机、输弹机、炮口制退器和抽气装置的构造、设计和计算。本书不仅阐述了结构的强度与动力学的问题、而且还阐述了其设计的理论基础。

关于炮身和炮闩设计实践中的理论均用具体的典型计算例子做了说明。

这些实例给出了由原始数据和题意求出结果的完整的概念。

因为在火炮引用的全部参考文献中都采用工程单位制,所以本教材中也考虑到了这种单位制。工程单位制和国际单位制计量单位间的关系参见本书的附录。

编著本书时参考了国内外的一些有关出版物。

本书主编是Б. Б. 奥尔洛夫。

目 录

符号一览表	1
第一章 火炮总体和炮身概论	5
§ 1.1 火炮总体的一般概念	5
§ 1.2 对炮身的基本要求 炮身的结构形式	8
§ 1.3 炮钢和身管制造的一般概念	24
参考文献	27
第二章 炮身的结构与构造	28
§ 2.1 炮身和药筒的结构	28
§ 2.2 膛线缠度的计算	40
§ 2.3 膛线计算举例	52
参考文献	58
第三章 身管强度的计算	59
§ 3.1 基本概念	59
§ 3.2 以最大变形和形变能理论为基础的厚壁管 计算公式的推导	64
§ 3.3 以最大变形理论为根据的单筒身管强度的计算	74
§ 3.4 以生文南理论为根据的筒紧身管的计算	82
§ 3.5 以生文南理论为根据的活动身管或活动 衬管炮身强度的计算	88
§ 3.6 以生文南理论为根据的双层紧固身管的强度计算法	90
§ 3.7 以生文南理论为根据的层间冷却炮身的强度	97
§ 3.8 单筒身管抽气装置部位强度的计算	100
§ 3.9 以生文南理论为根据的自紧身管强度	102
§ 3.10 以形变能理论为根据的身管强度的计算	109
§ 3.11 分段组合身管的计算特点	117
§ 3.12 身管强度计算的实用公式和举例	118
参考文献	151

第四章 炮身的振动与弯曲	152
§ 4.1 径向振动	152
§ 4.2 横向振动	157
§ 4.3 扭转振动	167
§ 4.4 定起角	169
§ 4.5 计算举例	184
参考文献	187
第五章 身管的发热与冷却	188
§ 5.1 热交换与热弹性理论的现状和主要问题	189
§ 5.2 温度场计算概念	191
§ 5.3 射击过程中身管的发热	193
§ 5.4 身管发热对射击密集度和精度的影响	217
§ 5.5 身管的冷却	219
§ 5.6 平面应变状态下的温差应力	229
§ 5.7 发热不均匀身管的轴向和径向应力	239
参考文献	242
第六章 身管的寿命	243
§ 6.1 身管寿命概述	243
§ 6.2 寿命的计算方法	249
参考文献	252
第七章 炮尾	253
§ 7.1 基本要求和分类	254
§ 7.2 受力分析	257
§ 7.3 炮尾螺纹部的计算	258
§ 7.4 楔式炮闩炮尾的计算	266
§ 7.5 螺式炮闩炮尾的计算	277
§ 7.6 炮尾动载强度	284
§ 7.7 计算举例	285
参考文献	295
第八章 火炮炮闩、半自动机和输弹机	296
§ 8.1 对炮闩的一般要求	298
§ 8.2 楔式炮闩的关闩与开闩装置	304

VIII

§ 8.3	螺式炮门关门装置及螺门室的构造	309
§ 8.4	半自动机及对它的要求	318
§ 8.5	击发装置	324
§ 8.6	抽筒装置设计的理论基础	328
§ 8.7	巴日式塑性紧塞具的构造	343
§ 8.8	输弹机的构造	356
参考文献		372
第九章 炮口制退器、稳定器和抽气装置的设计		373
§ 9.1	炮口制退器和定向器的计算	376
§ 9.2	气体助退器的计算	390
§ 9.3	气体稳定器的计算	394
§ 9.4	抽气装置的设计和计算	399
§ 9.5	计算举例	406
§ 9.6	炮手位置的超压力	418
§ 9.7	炮口制退器在炮身固定位置的弹性反力	423
参考文献		429
附录		430

符号一览表

a —— 阳线宽;	$H(y)$ —— 沿高度的密度分布函数;
a_{21} —— 单筒炮身或双层炮身身管的相对外径;	i —— 弹形系数;
a_{31} —— 双层炮身的相对外径;	I —— 炮身横断面的惯性矩;
a_{32} —— 双层炮身被筒的相对外径;	$J_1 J_2$ —— 第一类和第二类贝塞尔函数;
b —— 阴线宽;	I_k —— 炮尾的惯性力;
B_i —— 比渥准数;	k —— 绝热指数;
c —— 比热;	σ_{n1}, σ_{n2} —— 自紧时考虑到冷作硬化的各单元层之强度等级;
c_p —— 径向振动传播速度;	K_x —— 翻转力矩之空气动力系数;
c_k —— 扭转振动传播速度;	l —— 长度;
C_q —— 弹丸相对重量;	l_0 —— 药室的缩径长度;
d —— 身管口径;	l_n —— 弹丸沿炮膛的行程;
d_k —— 药室底的直径;	L_c —— 炮身长度;
e —— 力偶臂;	m —— 弹丸质量;
E —— 杨氏模量;	m_x —— 炮身断面单位长度质量;
f —— 火药力;	M_0 —— 后座部分的质量;
g —— 重力加速度;	
G —— 液体或气体流量;	
h —— 翻转力矩臂;	

- M ——马赫数;
 n ——膛线数;
 N ——弹丸对膛线导转侧之作用力;
 N_{yn} ——弹丸对膛线导转侧之压力;
 N_u ——努谢尔特准数;
 p_m ——最大膛压;
 p_a ——自紧压力;
 p_0 ——挤进压力;
 p_{oc} ——紧塞具垫压力;
 p_1 ——单筒炮身的强度极限;
 p_1^Y ——双层炮身的弹性强度极限;
 p_1^B ——双层炮身的可能强度极限;
 p_{nn} ——膛底压力;
 P_{nn} ——作用于膛底的力;
 P_{ck} ——作用于药室锥形部的力;
 p_r ——普朗特准数;
 P_{oc} ——紧塞具对炮膛壁的作用力;
 q_{kn} ——臼体重;
 Q_o ——后座部分重;
 Q_c ——炮身重;
 r ——半径;
 r_1 ——炮膛阴线之半径;
 r_2 ——单筒炮身或双层炮身内管之外半径;
 r_3 ——双层炮身之外半径;
 R ——后座阻力;
 Re ——雷诺数;
 S ——炮膛横断面的面积;
 S_t ——斯坦顿数;
 t_n ——膛线深度;
 T ——温度;
 T_1 ——紧固时炮膛表面上产生的应力;
 T_{cr} ——身管壁之温度;
 v_n ——弹丸炮口速度;
 v_0 ——弹丸初速;
 V ——炮架各部分的速度;
 W_0 ——药室容积;
 X ——射程;
 x ——弹丸沿炮膛运动的行程坐标;
 y ——膛线展开之横向坐标;
 Z_k ——臼体的全行程;
 α ——膛线与炮膛中心

- 线之倾角;
 α_r ——散热系数;
 β ——全作用系数;
 Δ ——装填密度;
 Δ_n, Δ_s ——双层炮身的过盈
 或身管与被筒间
 的间隙;
 ε ——相对变形 (应
 变);
 $\varepsilon_r, \varepsilon_t, \varepsilon_x$ ——身管的相对径向
 变形、切向变形
 和轴向变形;
 ξ ——后座行程;
 Π ——弹簧力;
 η ——以口径表示的膛
 线导程 (缠度);
 η_n ——火炮效率;
 θ ——掷角;
 λ_n ——弹丸在炮膛里的
 相对行程;
 λ_a ——气体的无因次速
 度;
 μ ——泊松系数;
 ν ——气体和炮身壁之
 相对温差;
 ρ ——摩擦角;
 σ_e ——材料的弹性极
 限;
 $\sigma_r, \sigma_t, \sigma_x$ ——炮身壁内的径向
 主应力、切向主
 应力和轴向主应
 力;
 σ ——散热系数;
 σ_i ——在第 i 排侧孔后
 中央腔室里的部
 分气体;
 τ ——剪应力;
 φ ——炮身射角;
 Φ ——驻退机的阻力;
 ψ ——侧孔中心线对炮
 膛中心线的倾
 角;
 ω ——装药重量;
 j ——后座加速度。

第一章 火炮总体和炮身概论

炮身是火炮的主要部件，它的结构在很大程度上决定全炮的战斗性能。炮身的结构往往依火炮总体的用途和构造而定，而炮身的性能多半由所采用的材料和生产工艺来决定。

所以在直接研究炮身的设计问题之前，必须先来研究一下火炮总体和炮身的一般构造。

§ 1.1 火炮总体的一般概念

现代的军队装备有各种不同构造和用途的火箭炮和火炮。

所谓火炮总体包括火炮、炮弹、运载工具以及射击与观测仪器（图 1-1）。一般情况下，火炮由下面几个部分组成：带所需零件的炮身、反后座装置、上架、带运动体的下架。在上、下架上安装着高低瞄准机、方向瞄准机、瞄准装置，以及使火炮在战斗中便于使用的其它辅助装置。

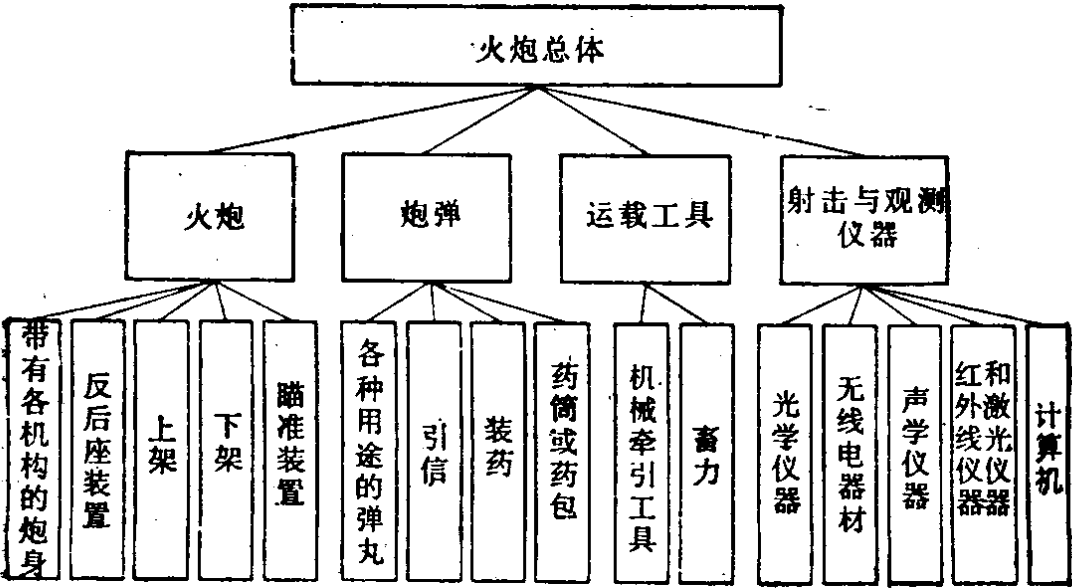


图1-1 火炮总体结构示意图

炮弹 炮弹由药筒或药包、带有点火具的发射装药、各种用途的弹丸和引信组成。有时炮弹还包括消焰剂、除铜剂和提高炮身寿命及发射时用来伪装火炮的其它用品。

如果只考虑火炮与直接在战场上射击用的炮弹的运输（即战术机动）的话，那么，运载工具可使用各种机械牵引工具——拖拉机、汽车，也可使用畜力——牲畜（马、骡）。

在山地或行驶困难的森林地区，特种炮兵装备主要靠炮兵里的畜力来运输。

现代火炮的运输基本上还是使用机械牵引工具来实现的。一部分火炮是利用架尾部的专用装置挂在履带式或专用轮式牵引车（拖拉机、汽车）上进行运输的。这样的火炮属于野战炮兵牵引火炮类。

如果用专门上架将火炮的起落部分安装在履带或轮式牵引车的底盘上，并直接在底盘上进行射击的话，那么这种火炮就称为自行火炮。

有些牵引式火炮，炮架上装有小型发动机，用传动装置带动火炮运动部分，这样在作战时火炮本身就能做短距离的移动。这样的火炮称为自运炮。

显然，航空炮的运载工具是飞机。坦克炮的运载工具就是坦克本身。

射击与观测仪器 根据火炮总体用途的不同，射击与观测仪器的种类是十分繁杂的。它们用来确定要进行射击的火炮与被射击的目标之坐标，以及确定火炮瞄准目标的起始诸元。

上面列举的火炮总体的粗略示意图说明了它的复杂性，所以设计火炮总体时必须由各方面的专家参加，并且协调工作，因为只有满足这些条件，才可以指望得到具有良好战斗性能的火炮总体。

虽然火炮总体是由相当多的部分组成的，但是这决不是说，它们中的各个组成部分是能单独使用的。在火炮总体中，基本组成

部分是火炮和炮弹，因为只有它们才能直接杀伤敌人并基本上确定火炮总体的战斗性能。

运输工具的作用是：在需要的时候能将火炮及炮弹运到要求的阵地。射击与观测仪器的作用是：能在尽可能短的时间内得到按选定的目标进行射击所需要的起始诸元，以帮助炮兵指挥员进行射击校正。所以在设计新火炮总体的时候，只要对所设计的火炮和炮弹提出基本战术技术要求即可。至于总体中的其它组成部分，则只有当装备的运输工具和射击与观测仪器完全不能适应于新生产的火炮及炮弹时，才对这些部分重新加以研究。

我们不准备详细讨论设计新火炮总体时提出的各项战术技术要求，只谈一下射击密集度。

射击密集度 射击密集度是火炮与炮弹的性能之一。弹丸的弹道是以一定的方式围绕某一假想的平均弹道散布的。这种散布服从于误差的正态分布规律。射击密集度用中间偏差值表示，在炮兵实践中通常称为“或然误差”。

在着发射击时（图 1-2）要研究水平面和垂直平面上的或然误差。在水平面上， B_x ——射程或然误差，是射击方向上的或然误差， B_y ——方向或然误差，是侧向（与上述方向相垂直的方向）的或然误差。在垂直平面上散布值以高度或然误差 B_z 表示，而在侧向以方向或然误差 B_y 表示。

因为同一门火炮在射击条件完全相同时，或然误差决定于射程 X ，所以比较各种火炮的射击密集度，引用比例： $\frac{B_x}{X}$ 、 $\frac{B_y}{X}$ 和 $\frac{B_z}{X}$ 。显然，当火炮的或然误差值最小时，其射击密集度就最高，因而散布最小。

影响弹丸散布，因而影响火炮射击密集度的原因是很多的，而这种影响实际上是不能排除的。但是，如若在设计火炮及炮弹时对它们结构上的各个问题持重视的态度，就能大大提高射击密集度。因此，在直接动手研究炮身的设计问题之前，有必要把其中

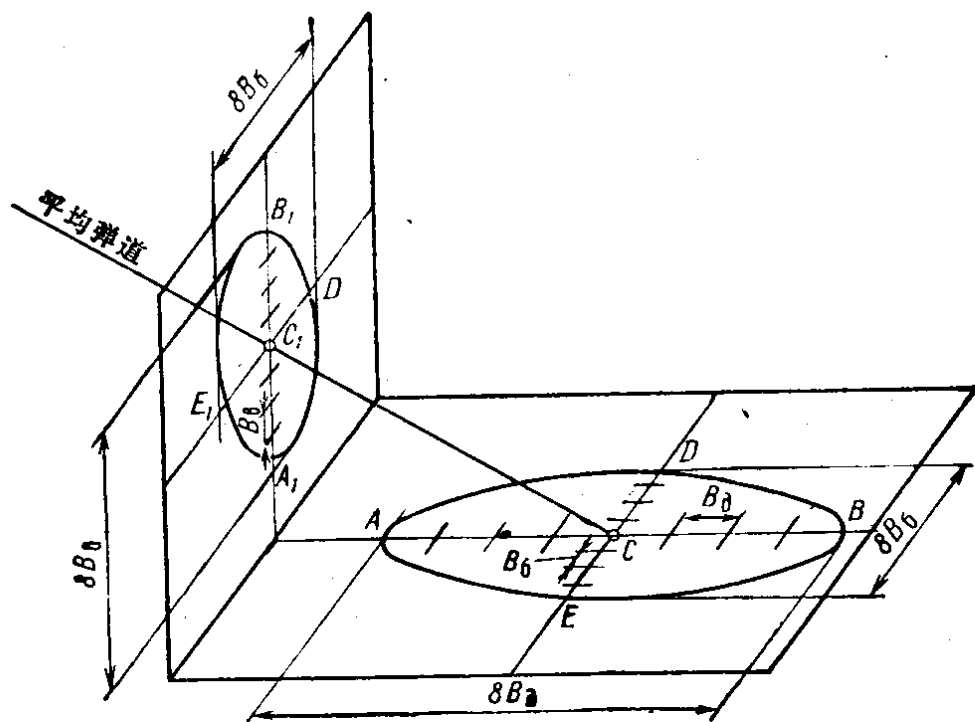


图1-2 着发射击时或然误差的确定

C 、 C_1 —散布中心； AB 、 A_1B_1 和 ED 、 E_1D_1 —分别为散布椭圆的长、短轴。

的主要问题指出来，因为这些问题同时也是设计师们在进行设计的过程中头脑里应该考虑的基本技术要求。

1. 正确地选择炮身的一般结构。
2. 选择最适宜的膛线缠度和弹丸在炮膛里的导转方式。
3. 合理地选择轮式野炮后座部分与固定部分的质量关系，并保证它们的射击稳定性。
4. 炮身沿其几何轴线方向后座的平稳性。
5. 当弹重 q 和初速 v_0 给定时，合理地选择弹丸的几何特性及其质量分布。
6. 选择最适宜的发射药和药粒的形状，在任何情况下都要保证炮弹的装填条件相同。

§ 1.2 对炮身的基本要求 炮身的结构形式

火炮的炮身用以向一定方向，以一定速度发射弹丸，并赋予弹丸飞行时的稳定性。按一般结构来说，炮身是一根管子，其内

腔称为炮膛（图 1-3）。炮膛由药室和导转部两个基本部分组成。药室用来承装发射药（药筒或药包）。射击时弹丸沿炮膛导转部运动。药室以连接圆锥部与炮膛导转部连接起来。

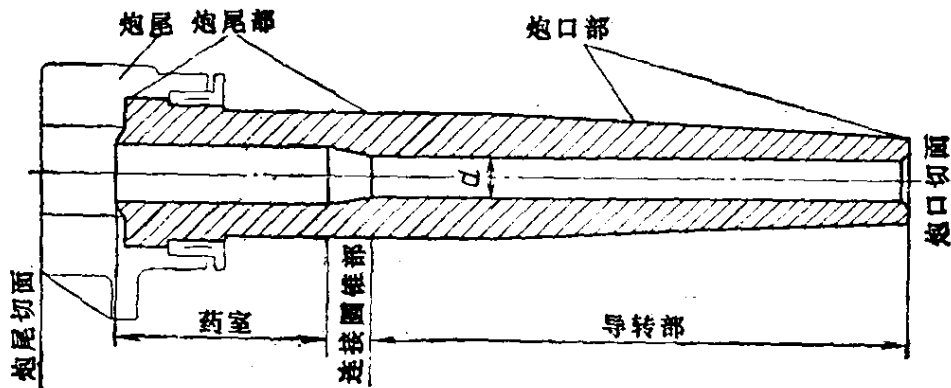


图1-3 炮身简图

上述炮身各部分的结构取决于装填方式和弹丸沿炮膛的导转方式。

炮身壁同样也有各种结构。炮身装填发射装药的那一部分叫做炮尾部，弹丸飞出的那一部分叫做炮口部。

因此炮身的两个端面通常就称为炮尾切面和炮口切面。

炮身各部分的外形只能是圆柱形或圆锥形的。炮身上能固连下列基本零件：装炮门的炮尾、抽气装置、炮口制退器，以及将炮身与反后座装置相连接并在射击时使炮身后座与复进所需的零件。

炮膛导转部若有膛线，则炮膛阳线部分的直径“ d ”称为火炮口径。显然，导转部若没有膛线，则炮膛导向部的直径就是火炮的口径。

弹丸的导转部是根据火炮的口径设计的，所以不论弹丸其它部分的结构如何，火炮的口径都决定着弹丸的直径。如果弹丸本身的直径比导转部的直径小得多，这种炮弹通常叫做次口径弹。口径 d 不仅是炮膛和弹丸的主要参量，而且也是整个火炮的主要参