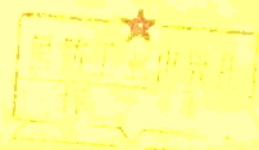
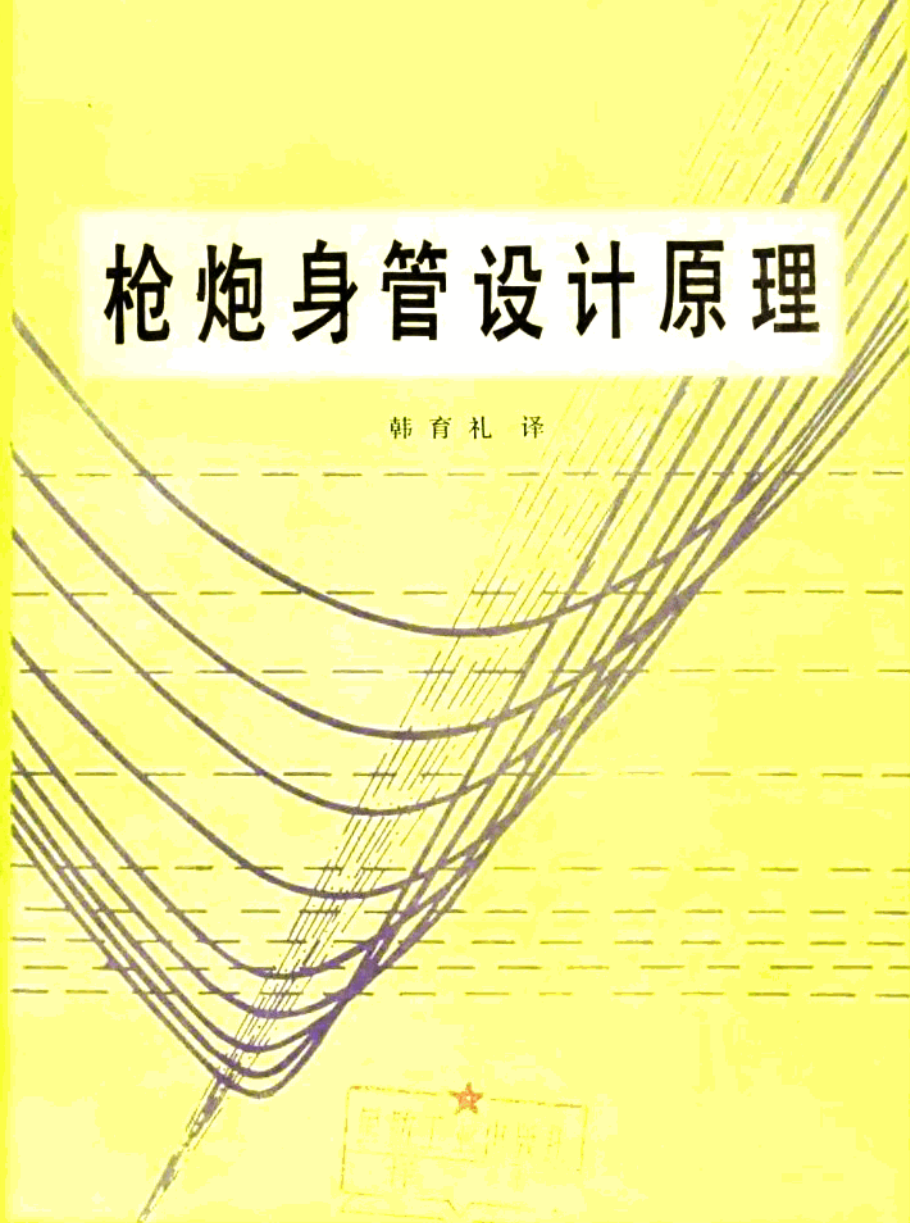


枪炮身管设计原理

韩育礼 译



译 者 序

本书是根据美国陆军器材部 1964 年出版的工程设计手册枪炮丛书之一“GUN TUBES”译出的。原书是由美国的一些研究单位、工厂和大学共同编写的。该书的主要任务是向有关设计人员介绍枪炮身管的工作原理并提供设计方法。书中内容包括各种枪炮身管结构特点、工作原理、设计方法，身管在射击中的有关现象的分析，身管材料以及各种主要类型身管的计算示例。其中有关无后座炮药室及喷管的设计、自紧身管和短衬管(镶套)身管的设计以及考虑热应力时自动武器身管设计问题的系统介绍都是过去同类材料中少见到的。本书内容比较全面、叙述简明，对于我国从事枪炮设计、研究、生产和教学人员都有一定的参考价值。

原书中的某些公式和数据计算存在一些错误，译者对其中较明显者作了修正。译者还对原书中印刷模糊的图文作了删节。

目 录

第一章 引言	7
第一节 本书讨论的范围和目的	7
第二节 身管的作用	7
第三节 枪炮的分类	7
第二章 身管的各组成部分	8
第一节 药室	8
第二节 炮尾	9
第三节 炮膛	9
第四节 炮口	9
第三章 枪炮身管的分类	11
第一节 野战火炮身管	11
1. 单筒身管	11
2. 筒繁身管	11
第二节 轻武器身管	11
1. 带短衬管的身管	11
2. 转膛武器身管	12
第三节 无后座炮身管	12
第四节 消耗性武器身管	12
第四章 影响身管工作的各种因素	14
第一节 作用力	14
1. 火药气体压力	14
2. 弹丸的作用	14
3. 后座力	15
4. 振动	15
第二节 灼热	15
1. 热应力	15
2. 尺寸的变化	17
3. 自发火、自炸	17
第三节 烧蚀	18
1. 起因	18
2. 影响的范围	18
第五章 减小对身管有害影响的途径	19
第一节 机械设计方面	19
1. 高强度材料	19
2. 减小振动的措施	19
3. 振动的计算	19
第二节 冷却方法	24

1. 增大身管的质量	24
2. 冷却剂	24
3. 边界层冷却	25
4. 降低输入的热量	25
第三节 减少烧蚀的方法	25
1. 弹带方面	25
2. 膛线	26
3. 衬管和镀层	27
第六章 枪炮身管设计	29
第一节 设计的对象	29
第二节 内弹道曲线	29
第三节 药室设计	29
1. 和药筒的配合	30
2. 药室的锥度	31
3. 坡膛的锥度	31
4. 无后座炮药室的几何形状	32
第四节 无后座炮喷管设计	34
1. 参量	34
2. 喷管的形状	35
3. 喷管的压力分布	36
4. 后座平衡	36
第五节 炮膛	38
1. 炮膛的直径	38
2. 炮膛的长度	38
第六节 温度分布	39
第七节 膛线	39
1. 轮廓	39
2. 膛线强度	41
3. 膛线的扭矩	42
第八节 身管壁厚的确定	48
1. 设计压力	48
2. 需要的强度	49
3. 相当应力	50
4. 由内压产生的应力	50
5. 膛线的剪切应力	51
6. 紧箍应力	51
7. 热应力	56
8. 后座惯性力产生的应力	57
9. 应力集中	57
10. 身管应力分析的应用	58
11. 降低应力的措施	79
12. 弥补炮膛变形的措施	82
第九节 衬管设计	83
第十节 短衬管身管	84
第十一节 连接零件的特点	85
1. 螺纹	85

2. 传递膛线扭矩的零件	87
3. 炮口装置	88
第十二节 枪炮身管材料	88
1. 钢	88
2. 钛合金	91
3. 铝	92
4. 塑料	93
5. 司太立特合金	93
6. 铬	94
第十三节 身管的工艺过程	95
第七章 维护	96
第一节 防锈措施	96
第二节 检查	96
第八章 举例	97
第一节 野炮单筒身管	97
1. 单筒身管	97
2. 自紧身管	99
第二节 野炮的筒紧身管	100
1. 单被筒筒紧身管	100
2. 带双被筒的筒紧身管	103
第三节 带紧配衬管和尾筒的轻武器身管	106
1. 紧缩压力	106
2. 紧缩应力	107
3. 内压产生的应力	108
4. 合成应力	108
第四节 内压和热应力复合作用的轻武器身管	109
1. 火药气体压力的应力	109
2. 紧缩压力产生的应力	110
3. 热应力	110
第五节 无后座炮	110
1. 身管	110
2. 药室	116
3. 喷管	122
参考资料	125

符 号 表

- a —— 由坐标原点到膛线曲线起点的距离, 内半径, 弹丸的直线加速度
 a_m —— 弹丸的最大加速度
 A —— 截面积
 A_e —— 喷管进口面积
 A_b —— 炮膛截面积
 A_c —— 药室截面积
 A_e —— 喷管出口截面积
 A_n —— 原始喷管喉部面积; 喷管的投影面积
 A_t —— 喷管喉部面积
 A_x —— 距喉部为 x 处的喷管面积
 ΔA_n —— 喷管喉部面积的改变量
 b —— 由膛线起点到最大压力点距离的两倍, 外半径
 C —— 火药重量
 CMP —— 计算最大压力
 d_t —— 螺纹深度
 D —— 在 D_i 到 D_o 之间变化的直径, 平均直径, 抗弯刚度
 D_1 —— 衬管外直径; 被筒内直径
 D_b —— 炮膛直径
 D_i —— 内直径
 D_m —— 平均直径, 心轴 (冲头) 直径
 D_o —— 外直径
 ΔD_e —— 炮膛和弹丸之间的名义间隙
 E —— 弹性模量, 火药潜能
 E_e —— 相当弹性模量
 E_r —— 环的弹性模量
 ESP —— 弹性强度极限
 f_e —— 相当应力系数
 f_n —— 自然频率
 f_r —— 发射速度
 F —— 力的惯用符号; 火药力; 喷管推力
 F_g —— 火药气体作用力
 F_n —— 喷管推力
 F'_r —— 由于膛线扭矩在摇架键上所产生的作用力

- F_t ——螺纹上的作用力, 马赫数为 1 的喷管喉部推力
 F_u ——内体螺纹上的单位载荷
 ΔF ——力的增量
 g ——重力加速度
 G ——膛线的数目; 切变弹性模量
 h ——膛线的深度; 键槽的深度
 I ——截面惯性矩
 J ——截面的极惯矩
 k ——弹丸的回转半径
 k_t ——高温下强度下降的系数
 K ——动能
 K_r ——等齐缠度膛线扭矩公式中的系数
 L ——膛线展开曲线的轴向长度; 配合的螺纹长度; 键的长度; 长度的增量
 L_d ——扩张段锥的长度
 L_l ——载荷系数
 L_n ——喷管锥体长度
 L_0 ——需要药室的最大长度
 M ——力矩的通用符号
 M_p ——弹丸质量
 M_r ——后座部分质量; 后座部分的动量
 $M_{r,1}$ ——指定后座部分的动量
 ΔM_r ——要求的动量改变量
 n ——膛线曲线方程的指数
 n_a ——每转以口径倍数表示的膛线缠度
 N ——垂直于膛线曲线的作用力
 p ——渐速缠度膛线方程的常数; 设计压力
 p_A ——相当炮膛 A 点的压力
 p_e ——药室压力或计算的 actual 压力
 p_f ——自紧压力
 p_g ——火药气体压力
 p_{gm} ——火药气体的最大压力
 p_i ——内压
 p_m ——基于 PIMP 计算的设计压力
 p_o ——外压或外壁压力; 容器的压力
 p_r ——紧缩压力
 p_t ——喷管喉部的设计压力; 螺距
 p_w ——许用压力
 p_x ——在 x 点的喷管压力

- P ——测量的膛压
 $PIMP$ ——允许单发最大压力
 $PMMP$ ——允许平均最大压力
 r ——身管壁上任一点的半径
 r_a ——临近喷管处药室的半径（喷管进口处的半径）
 r_e ——喷管出口的半径
 r_r ——喷管喉部的半径
 R ——摆的半径；弹丸的半径或炮膛的半径
 R_e ——有效应力比值
 R_f ——频率比
 RMP ——额定最大压力
 s ——渐速缠度膛线方程的常数
 s_r ——自由行程长度
 S_A ——由相当药室尾端面到 A 点的距离
 S_B ——由相当药室尾端面到弹底的距离
 S_f ——安全系数
 t ——时间；厚度；管壁内任一点的温度
 t_1 ——火药气体作用时间
 t_i ——管壁内表面温度
 t_o ——管壁外表面温度
 t_r ——要求的壁厚
 T ——膛线的扭矩；摆的周期
 T_p ——压力作用所产生的膛线扭矩分量
 T_v ——由于速度因素产生的膛线扭矩分量
 ΔT ——总的温度梯度
 v ——膛内任一点弹丸的速度
 v_m ——炮口速度
 v_r ——后座速度
 V_e ——发射药药包所占的体积
 V_e ——喷管进口处的体积
 V_f ——炮膛全容积
 V_o ——药室容积
 W ——重量；直径比；单元梁的动力系数
 W_e ——发射药重量；修正后的直径比
 W_f ——加工后的身管直径比
 W_j ——被筒的直径比
 W_L ——衬管的直径比
 W_p ——弹丸重量

W_r ——后座部分的重量
 W_t ——身管的重量
 x ——膛线展开曲线的轴向长度；摆的线性振幅
 x_B ——膛内膛线的轴向长度
 y ——单元梁的挠度；炮膛膛线在圆周方向的长度
 Y ——屈服强度
 α ——线膨胀系数；膛线缠角；扩张锥的半角
 α_E ——膛线的出口缠角
 γ ——比热比
 δ ——总的位移量；总的紧缩量（过盈量）；钢的密度
 δ_f ——被筒的位移量
 δ_L ——衬管的位移量
 δ_m ——心轴（冲头）的位移量
 δ_{rr} ——紧缩作用使环产生的位移量
 δ_t ——身管的位移量
 Δ ——装填密度；径向相对变形的通用符号
 Δ_i ——身管和心轴（冲头）之间所需要的紧缩量
 Δ_p ——发射药包的最大装填密度
 ϵ_t ——切向应变
 θ ——筒壁的锥角；弹丸的位移；转角的通用符号
 θ_n ——喷管的内夹角
 $\dot{\theta}$ ——弹丸的角速度
 $\ddot{\theta}$ ——弹丸的角加速度
 λ ——喷管扩张角的修正系数
 η_a ——轴向应力系数
 η_t ——切向应力系数
 μ ——摩擦系数
 ν ——波松比
 ρ ——回转半径
 σ_a ——轴向主应力
 σ_{ap} ——由于内压作用的轴向应力
 σ_{at} ——轴向热应力
 σ_{br} ——挤压应力
 σ_e ——相当应力
 σ_{ea} ——允许相当应力
 σ_f ——螺纹牙弯曲应力
 σ_r ——径向应力
 σ_{rp} ——径向压应力

- σ_{rs} ——径向紧缩应力
 σ_{rt} ——径向热应力
 σ_t ——切向主应力
 σ_{tm} ——由于扭矩产生的切向应力
 σ_{tp} ——压力产生的切向应力
 σ_{ts} ——切向紧缩应力
 σ_{tt} ——切向热应力
 σ_{tb} ——由于径向变形产生的切向应力
 σ_w ——允许拉应力
 σ_y ——材料的屈服强度
 τ ——扭转剪应力；剪切应力
 τ_w ——允许剪应力
 ϕ ——弹丸的转动惯量
 ψ ——推力系数
 ω ——临界圆频率；后座部分动量同弹丸动量之比

第一章 引言

第一节 本书讨论的范围和目的

§1 枪炮身管，或简称身管，这个名词是指枪炮发射弹丸的那个主要部件。使用这个名词时并没有限定口径，它包括着在轻武器词汇中经常用的枪管。这本书中讨论了各种类型身管的设计过程。书中力图提出身管设计工作者所遇到的各种问题，进行简要地讨论并给出设计的途径。本书对新参加这方面工作的人熟悉身管设计各方面的知识是有益的，对于有经验的人员来说也是一本有用的参考资料。

第二节 身管的作用

§2 身管是枪炮的主要部件。实质上，身管是一个管状的压力容器，它在尾端面封闭而在炮口端打开，对于无后座炮来说是例外的，它的尾端是受控制打开的。身管确定弹丸的初始运动状态；在发射前，它提供容纳整发炮弹的空间；在发射过程中，身管在弹丸运动方向以外的各个方向承受火药气体作用力，它在弹丸运动方向上使火药气体推动弹丸前进。对于无后座炮来说，一部分火药气体向后方喷出阻止火炮后座。身管的高低和方向角确定了弹丸的飞行方向。在线膛炮身管中，膛线赋予弹丸飞行稳定所需要的转速。简而言之，身管的任务是使弹丸以特定的初速射向目标。

第三节 枪炮的分类

§3 一般来说，身管就能表明武器的类型。通常身管分为三大类，即野战火炮身管，轻武器身管和无后座炮身管。野战火炮是指口径大于30mm的身管武器，例如加农炮、榴弹炮和迫击炮。轻武器包括一些自动的、半自动的和单发的武器，通常它们的口径不超过30mm。也有少数口径大于30mm的自动武器，如37mm民团团员式高炮和90mm扫天式高炮，这些火炮专门给它们分类也比较困难。无后座炮是包括着各种口径的，它们的后座力是由向后面喷出火药气体来平衡的。

第二章 身管的各组成部分

§4 身管可以分为四个部分：前部称炮膛部，在发射时弹丸通过这个部分；后部称药室部，在发射前容纳炮弹；后端开口部称身管尾部，通过这个部分装填弹药；前端开口部称炮口部，弹丸由此发射出去。对于无后座炮来说，其后端开口部称为喷管，它保证了火炮不后座。就这些部分的作用而论也有些例外，这与身管尾部打开和装填方式有关。例如，大多数迫击炮是由炮口装填，它的药室是永远封住的。图2-1给出典型的身管结构，它标出了常规火炮身管的各个组成部分的部位。

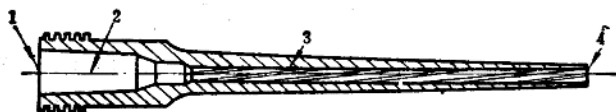


图2-1 典型身管的各个部分名称
1—身管尾部；2—药室；3—膛线；4—枪炮口。

第一节 药 室

§5 炮弹在装填之后发射之前，弹带以前的部分或相应的部分处于炮膛之中，对于无后座炮炮弹来说，其预先刻槽的弹带也是处在炮膛之中。炮弹的其余部分处于药室中。除开转膛式火炮，药室同炮膛都构成一个整体。药室由药室本体、第一肩部、圆柱部（对于野炮）或是颈部（对于轻武器）、第二肩部、弹丸定位部以及坡膛组成（图2-2a）。坡膛是一个截头圆锥面，它的锥面向前延伸通过膛线起始部并且与炮膛表面相交。弹带就是由这里挤入膛线的。同弹丸定位部后面紧接的部分叫做圆柱部或叫颈部。它的直径要大到足以容纳弹带或是药筒的口部。不是所有的大口径野炮身管都具有圆柱部。药室的本体即其最粗大的部分用于承装发射药和点火药。图2-2中的(b)、(c)、(d)、(e)各图给出各种类型身管的药室内全弹药的定位情况。采用分装式炮弹的野战火炮身管，它的药室壁为圆柱面或圆锥面，其最小直径是由坡膛的最大直径来限制的。如果是圆锥面时，其内表面可能一直延伸到坡膛。在另一方面，对于发射定装式和半定装式炮弹的身管，其药室和药筒之间的间隙以及药室壁的锥度都有一定的范围。这是因为药筒壁既要在发射时膨胀以紧塞火药气体，又要在发射后基本恢复到原来的尺寸以保证抽筒容易。这个问题对于轻武器来说特别重要，它不但要求沿锥面具有不大的间隙，而且还要限定第一个肩部的轴向过盈量。在装填过程中，闭体作用力使药筒的上述对应部位稍微地压紧，以此来避免药筒发生轴向破裂。这个压紧作用叫做挤压，它可以使抽筒容易。

第二节 炮 尾

§6 药室是由臼体或枪机封闭的，对于无后座武器来说，药室是同喷管相连接的。炮尾承装着臼体，并同药室外面的筒壁以螺纹连接。在一些轻武器的身管后部形成节套，节套同机头相配合。无后座炮炮身上的喷管可以直接同药室的尾端连接或是同改型的炮尾连接。上述炮尾、臼体或喷管等组合件都同身管连接在一起，从而使火药气体对它们的作用合力传递到身管上去。这也就是说，装配好的身管和炮尾组合件对连接着炮身的构件传递作用力，上述组合件可以作为一个整体来看待。

第三节 炮 膛

§7 炮膛是由圆筒形的内表面构成的，它是弹丸的加速管。早期的身管武器是滑膛的而且精度很差。后来由于偶然的或是设计上的原因发现，弹丸在飞行时围绕其纵轴旋转可以提高精度。为了产生这种旋转运动，已经采用了几种方法。一种方法是利用气体冲击弹丸上的倾斜尾翼使弹丸旋转，另一种方法是采用膛线使弹丸旋转。膛线是炮膛表面上呈螺旋线形的棱带。其突出的部分叫做阳线，两个阳线之间的空间叫做阴线。螺旋线可以是具有相同缠角的，也就是等距螺旋线；也可以是具有变化缠角的，即由某一指数曲线构成。弹丸在炮膛内运动时，它沿着膛线旋转的角速度正比于弹丸的直线速度和缠角的正切值。

§8 为了确保同膛线的接触，枪弹的弹头壳或炮弹的弹带的直径至少要等于阴线的直径。弹丸起始运动时，弹带或弹头壳强力地挤入膛线，这个过程叫做挤入（切入）膛线，它发生在膛线的起始部。对于无后座炮来说，弹带是预先刻槽的，此种结构可以减少弹带挤入膛线时的巨大作用力，这是因为此种武器是不希望存在挤进压力的。某些迫击炮的弹丸底部带有一个裙边或是弹托，在火药气体压力的作用下使它嵌入膛线。弹带是采用较软材料制成的。弹带采用焊接、粘接或是用机械的方法钎在弹体上。枪弹的弹头壳可以看做是全部包在弹丸外面的弹带。弹头壳、弹带或是弹托的作用都是将膛线的作用力传递到弹丸上去，使弹丸产生角加速运动。弹头壳或弹带还要确实保证紧塞，使火药气体不能通过弹丸泄漏出去。

§9 在过去曾以锥膛（渐紧炮膛）作为提高初速的手段。此种炮膛的口径在近药室部大而向炮口方向逐渐减小。较大直径的炮膛，承受火药气体压力作用的面积大，因而增加了弹丸的加速度。弹丸借助于两个直径大的弹带保持在膛内的定心并同膛线接触。这两个弹带隔开足够的距离以形成有效的定心部距离，随着弹丸在锥膛内的运动，弹带逐渐向里压缩。已经证明，此种方案是不够实用的。在轻武器中采用锥膛结构还是比较合适的。稍许减小枪口附近的直径，使枪膛沿全长上具有一个较小的锥度，可用以弥补磨损。在猎枪上，枪口一段很短的长度上采用渐紧内膛可以减小散布面积。

第四节 炮 口

§10 身管的末端是炮（枪）口，它用于连接准星、冲击波偏转器和炮口制退器。冲击波偏转器对于身管并不施加多大的载荷，而炮口制退器通过炮口部的连接螺纹向身管传递着相当大的作用力。

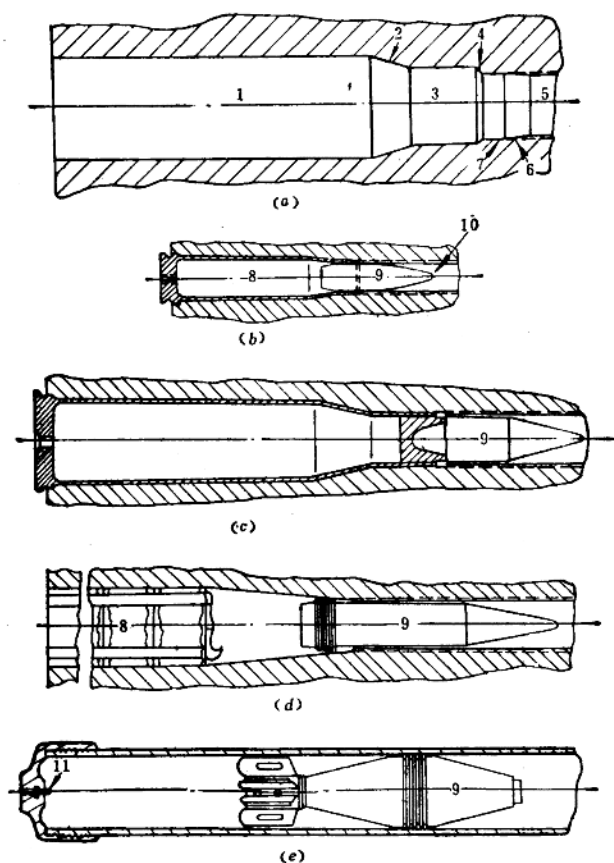


图2-2 各种类型身管的药室

(a)一药室各组成部分；(b)一装有定装式枪弹的轻武器药室；(c)一装有定装式炮弹的野战火炮药室；(d)一装有分装式炮弹的野战火炮药室；(e)一迫击炮药室。

1—本体；2—第一肩部；3—圆柱部；4—第二肩部；5—炮膛；6—坡膛；7—弹丸定位部；8—发射药；9—弹丸；10—枪膛；11—击针。

第三章 枪炮身管的分类

§ 11 枪炮身管通常以武器的类型来分类,即野战火炮身管,轻武器身管以及无后座炮身管。对每一类型还可以按结构形式再细分。但是某一特定的结构并不一定限定它从属于某一种武器。

第一节 野战火炮身管

1. 单筒身管

§ 12 野战火炮身管分为两类,即单筒身管和带被筒的身管。真正的单筒身管(图2-1)是由一个整体材料做成的。它的一个变型是带衬管的身管,此种身管同真正的单筒身管在原理上的差别,仅在于衬管并不担负身管壁的主要强度作用。衬管的配合有的是紧配合有的是松动配合。衬管有的是沿炮膛全长的,有的仅仅处于炮膛磨损最严重的膛线起始部前一段较短的距离上。用高抗烧蚀性材料制成的衬管可以延长身管的寿命。采用松动配合的衬管,可以在战场的条件下,用更换衬管的办法来延长身管的寿命。大多数紧固型的身管在身管的整个使用过程中是不更换的。

迫击炮采用单筒身管。迫击炮是野战炮兵的伴随武器,通常都要用人力放列和运输,这就要求它重量轻,这同对无后座炮身管的要求是相同的。

2. 筒紧身管

§ 13 筒紧或是紧固类型的身管是由两层或是多层同心的但并不一定同样长度的圆筒紧密地配合在一起而成的(它可能有或者没有可更换的衬管)(图3-1)。被筒不延伸到炮口是因为在那里的膛压比较低,被筒的长度是由沿炮膛长度上需要施加外压的部位来确定的。筒紧身管的装配通常采用过盈套合的方法。尽管被筒不是全长配合的,但是其内管包括前边不被紧固部分的内管通常还是被称为衬管。过去,筒紧身管还包括丝紧身管,采用钢丝的断面是方形的,这种钢丝在拉力的作用下缠绕在内管的外壁上,这就在内管壁上造成了预加的压缩应力,以此达到和筒紧身管一样的效果。丝紧身管由于生产技术的改进以及检查方法的发展已被现代的筒紧身管所代替。

第二节 轻武器身管

§ 14 轻武器身管可以是单筒的,也可以是由两个或两个以上的组件构成的,例如带短衬管的身管和转膛式的身管。

1. 带短衬管的身管

带短衬管的身管(图3-2)特别适合于机枪和自动炮。它由两个组件组成,即带衬管的身管和尾筒。尾筒内含有药室。此二组件采用螺纹和过盈配合装配起来,实际上形成了一个整体的带衬管的身管。

2. 转膛武器身管

另一种轻武器的身管是转膛式的身管，表示于图3-3。它由两个主要零件即身管和转鼓所组成。在身管上包含有膛线起始部和炮膛部，这同其他的身管相类似。在转鼓上有药室。转鼓是一个整体，它可以包含有四个、五个或是六个药室。对于转鼓轴来说，这些药室是以相等的间隔来配置的，它们依次地在转鼓停止瞬间同炮膛轴线对准进行发射。每个药室都带有一个密封圈，它可以防止火药气体从身管和转鼓之间泄漏出去。

格特林式火炮的几个身管（图3-4）的工作情况同转膛式身管相类似，但是它们具有完整的常规类型的身管，即各个身管都具有自己的药室和炮膛。这种类型火炮的优点是具有很高的发射速度，但对于其中任一个身管来说，它的发射速度却相当低。身管设计的原则主要是为了提高装配件中各单独身管的刚度，这样可使产生的应力和机械传动动力减小，并使操作维护简单。这种火炮在各身管的炮口间有一个支撑环，以提高刚度，在图3-4中未画出。

第三节 无后座炮身管

§ 15 在实际使用中无后座炮身管均为单筒结构。从重量轻和结构简单的观点来看，希望采用整体的炮身（图3-5）。然而，为了加工方便，通常将身管与药室做成一个整体，而将喷管做成单独的零件，然后用某种形式的螺纹将喷管与药室固紧并密封好。

第四节 消耗性武器身管

§ 16 消耗性的身管同前面介绍的身管相比，在意义上来说并不单算是某一种类型的，然而从使用的或勤务的角度上来说可以算是一种特殊类型的身管。采用消耗性身管，主要是为了减轻武器的重量，因而可提高武器的机动性并使操作方便。可以认为，真正的消耗性武器是仅发射一次就丢掉的武器。这种方案是使设计的身管强度达到或是非常接近其破坏极限。但是以后很快就认识到，这样的设计准则并不实际，其原因是材料固有的机械特性和材料成分上的不一致性以及性能上的各种差别等因素。这样就导致消耗性这个词的另一种概念，也就是有限寿命身管的概念。由延长使用寿命的观点采用这种武器，能够带来一些益处，例如减轻重量、缩小尺寸、减少复杂程度以及降低造价等等。因为将身管的使用寿命由几发减少到只有一发并没有带来或很少带来什么好处。在消耗性武器系列中，0.5英寸（12.7mm）铝制枪管的实验显示出了把寿命由一发提高到几发是合理的。实验表明，在每根身管的膛线磨损到不能提供弹丸飞行稳定所需要的旋转速度之前是能够发射好几发枪弹的。甚至于在早期实验中就认为，使用尾翼稳定或是采用预先刻槽弹带的弹丸将会得到提高使用寿命的效果。因此，可以得出这样的结论：可以发展一种具有有限寿命、重量轻的身管，用它能够发射几发同口径的炮（枪）弹。

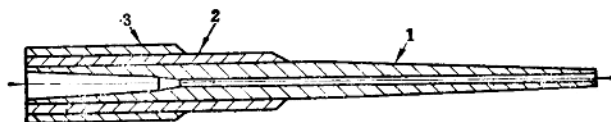


图3-1 筒紧身管

1—衬管；2—内波筒；3—外波筒。