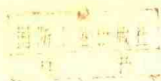


无后座炮设计

杨则尼 等编著



国防工业出版社

内 容 简 介

本书论述无后座炮设计和计算的基本理论与方法,介绍一些典型结构,并结合具体无后座炮实例介绍这些理论和方法的应用。全书共分七章。

本书可作为有关高等院校的教学以及从事无后座炮研制的工程技术人员的参考书。

无 后 座 炮 设 计

杨 则 尼等 编著

邱 凤 昌 审校

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

787×1092 1/16 印张 12 274千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷 印数: 0,001—1,800册

统一书号: 15034·2567 定价: 1.25元

前 言

本书论述无后座炮设计理论和方法。它是根据《无后座炮设计》课程的教学大纲，结合多年研制无后座炮的实践经验，并翻阅了国内外有关无后座炮方面的资料和论文编写而成的。

全书共分七章，内容包括绪论，合膛结构设计，炮身的无后座原理，喷管设计，炮身设计，炮尾及炮口设计，炮架设计等。

为了教学和科研方便，我们收集整理了一些数据，附在书后，供参考。

本书是按参考书的要求编写的，适当扩充了一些内容。作为教材，可选择书中有关章节。

由于我们水平所限，时间仓促，书中缺点和错误在所难免，衷心希望使用本书的同志多提宝贵建议和意见，使之能逐步提高和完善。

本书前四章由杨则尼编写，第五章由夏清安编写，第五章“发射时作用在炮身上的力”及第六章由何正求编写，第七章由吴其耀编写。全书由杨则尼主编。

本书由邱凤昌副教授审校，熊守智同志也看了若干章节，他们都提出了许多宝贵意见，对此我们表示衷心的感谢。

编 者 1982.2.

目 录

第一章 绪论	1	三、线膛炮身不旋转的稳定条件	39
§ 1-1 发展简史	1	四、炮身瞬时不平衡力和动量比	41
§ 1-2 无后座炮的工作原理	2	五、动量比方程	43
一、无后座原理是“动量守恒”的应用	2	六、药室压力与理想容器压力之比 of 的方程	44
二、无后座炮是火炮和火箭的结合	2	七、方程的图解讨论	45
三、无后座炮是开口系统的热力学装置	2	§ 3-3 关于不平衡冲量的问题	46
§ 1-3 无后座炮的分类	3	一、确定不平衡冲量所考虑的因素	46
一、按炮膛构造分	3	二、不平衡冲量的测量方法和计算公式	47
二、按能量获得原理分	3	三、调整不平衡冲量的修正公式	50
三、按装填方式分	3	第四章 喷管设计	53
§ 1-4 无后座炮的优缺点	3	§ 4-1 喷管性能的分析	53
一、重量轻	3	一、喷管推力随膨胀角的变化	53
二、结构简单	4	二、喷管推力随膨胀比的变化	55
三、制造容易, 造价低廉	4	三、药室结构和喷管进口面积对火炮性能的影响	55
§ 1-5 发展方向	5	§ 4-2 喷管设计	57
第二章 合膛结构设计	6	一、喷管的设计要求	57
§ 2-1 概述	6	二、喷管形状	58
一、合膛结构设计的基本考虑	6	三、喷管结构参数的确定	60
二、合膛结构的分类	9	四、喷管的变面	61
§ 2-2 装药结构的一般知识	12	五、喷管结构分析	63
一、装药的定义、组成和作用	12	§ 4-3 喷管的烧蚀	66
二、装药结构的种类	12	一、喷管烧蚀理论	66
三、发射药	13	二、喷管的受热计算	66
四、有孔药筒对内弹道的影响	16	三、影响喷管烧蚀速率的因素	67
§ 2-3 点火系统	18	§ 4-4 冲击波噪声效应	68
一、概述	18	一、冲击波噪声形成的机理	68
二、点火药的选择	19	二、无后座炮参量对冲击波噪声形成的机理的影响	73
三、点火结构的设计	20	三、冲击波噪声的损伤机理和国际标准	76
第三章 炮身的无后座原理	25	四、闪光现象与抑制	77
§ 3-1 拉瓦尔喷管理论	25	第五章 炮身设计	78
一、基本假设	25	§ 5-1 无后座炮身结构特点及设计要求	78
二、基本方程	26	§ 5-2 炮座结构设计	79
三、喷管内气体的参量	28	一、膛线	79
§ 3-2 消除后座的理论	37		
一、无后座的两种情况	37		
二、无后座方程式	38		

二、波障	81	四、定位装置	158
三、药室	81	五、抽筒装置	160
§ 5-3 发射时作用在炮身上的力	85	第七章 炮架设计	161
一、发射时作用在炮身上的轴向力	86	§ 7-1 概述	161
二、发射时作用于炮身的径向力	98	一、炮架的作用及其组成	161
§ 5-4 身管强度设计	101	二、炮架的分类	161
一、身管弹性强度极限	101	三、对炮架的主要战术技术要求	161
二、安全系数	104	四、炮架设计的特点	162
三、身管强度设计的统计方法	106	五、炮架设计应注意的问题	163
§ 5-5 螺纹联接部强度计算	110	§ 7-2 炮架的静态分析	163
一、螺纹副上的轴向作用力 Q	110	一、基本假设	163
二、螺纹牙强度计算	113	二、射击时的受力分析	164
三、螺纹壁强度计算	114	三、振炮和架炮时的受力分析	165
§ 5-6 身管材料	116	四、射击稳定性问题	166
第六章 炮尾及炮门设计	120	§ 7-3 炮架的动态射击稳定性问题	166
§ 6-1 概述	120	一、基本假设及力学模型	167
§ 6-2 炮尾炮门受力分析	121	二、分析力	167
一、炮尾与炮门闭锁啮合面上的火药 气体压力	122	三、惯性力系的简化	168
二、在炮口上的作用力	123	四、列方程求解	169
三、在炮尾上的作用力	125	五、讨论	170
§ 6-3 炮尾炮门强度计算	127	§ 7-4 无后座炮炮架的运动 微分方程组	172
一、闭锁齿的强度计算	127	一、基本假设及力学模型	172
二、三角形螺旋断隔齿结合部的 强度计算	128	二、分析力	173
三、闭锁杆式炮尾本体的强度计算	134	三、惯性力系的简化	174
四、闭锁杆式门体的强度计算	139	四、微分方程的建立	175
五、闭锁杆的强度计算	143	§ 7-5 架体设计	178
§ 6-4 炮尾炮门的各装置设计	144	一、上架	178
一、闭锁装置	144	二、下架	178
二、击发装置	148	三、强度计算	179
三、保险装置	156	主要参考资料	185

第一章 绪 论

无后座炮属于特殊炮种。在射击过程中，它利用经喷管向后流出的火药气体的反作用来平衡炮身的后座。

无后座炮既可以作为反坦克武器，对付敌坦克、步兵战车（装甲输送车）、自行火炮等装甲车辆，又可以作为直接支援火力的随伴火炮，摧毁敌轻型野战工事，杀伤敌人暴露的生动力量和火器。

§ 1-1 发展简史

无后座炮是二十世纪初叶出现的一种新型火炮。当时由于出现了坦克和装甲车辆，而且，坦克运动速度不断提高，故迫切要求发展轻便灵活、机动性良好而能有效地对付装甲目标的火炮。一般火炮要同时满足威力大和重量轻的两个要求是很难做到的。即使是采用了反后座装置和炮口制退器以及利用了前冲原理的现代火炮，也还是不能满足机动性的要求。人们开始寻求新的工作原理，以完全消除火炮的后座，达到大大减轻火炮重量的目的。

为了消除炮身的后座，最初于 1914 年，有人把两门火炮合在一起，使炮口朝相反的方向同时发射，保持炮身平衡。显然这种方式存在很大缺点，既不能做到大大减轻火炮重量，实际上也无法应用。

又有人提出，将两个轻重不同的弹丸放在炮膛中间同时进行发射，轻的向前运动，重的向后运动，这样来保持炮身静止。这种方法由于使用困难，也未能在实际中应用。

1921 年有人提出用没有闭锁机的火炮进行射击。这样生成的火药气体只有一小部分用来推动弹丸向前运动，另外大部分则向后流出。利用这部分气体流出时的动量，来抵消运动的弹丸和加速弹丸运动之气体以及从炮口流出之气体的动量，以此达到发射时炮身不后座的目的。这种方法有一个很大的缺点，就是火药消耗量太多。

为了提高火药的利用率，1936 年在没有闭锁机的炮尾上安装适当的喷管，用来增加火药气体流出时的速度，使产生较大的反作用力。这种喷管可使火药消耗减少，而且喷喉大小可以控制。这就是现代无后座炮的雏型。

无后座炮虽然作为武器诞生了，但由于初速低，穿甲能力小，故仍不能用来作为反坦克武器。第二次世界大战后期，发明了空心装药破甲弹。这种弹丸是靠高温高速的金属流的聚能效应破装甲的，有很高的破甲能力，而且与弹丸的初速无关。这种弹丸的出现，才使得无后座炮能够成为重量轻威力大的有效的反坦克武器。

由于坦克的发展，以及战争中大量使用坦克，在第二次世界大战中，德国、美国和苏联都大力发展无后座炮。美国以法兰克福兵工厂为中心，集中了另外七个公司和研究所，在从 1943 年至 1952 年的十年中，研制定型和未定型的产品近 20 种（而且还做了许多专题研究）。其中 M20 75，M40 105，M67 90 等性能较好，在世界上颇有影响。苏联先后研制了两个系列：不增程的 Б 系列，有 Б-10 82，Б-11 107；增程的 ПГ 系列，有 ПГ-2，ПГ-7，

ПГ-9 等。我国无后座炮的研制工作是从五十年代初期开始的。在近三十年的时间内，研制出近十种无后座武器系统，品种、数量和性能都取得了显著成绩。可见，五十年代前后是无后座炮迅速发展的时期。

§ 1-2 无后座炮的工作原理

一、无后座原理是“动量守恒”的应用

“动量守恒”是从质点系的“动量定理”引伸出来的。质点系动量定理规定：质点系动量对时间的变化率等于作用于质点系的合外力。其表达式为

$$\frac{d(mV)}{dt} = \sum_{i=1}^n F_i$$

或

$$d(mV) = \sum_{i=1}^n F_i dt$$

也就是说，质点系所受合外力的冲量，等于这个质点系动量的增量。若作用于质点系的合外力等于零，则质点系动量无改变，即 $d(mV) = 0$ ，这就是“动量守恒原理”。

我们把炮、弹、药和火药气体当作一个质点系。当火炮发射弹丸时，弹丸和加速弹丸运动的火药气体一起向前运动，产生一个向前的动量，若要火炮系统保持动量守恒，就必须设法使火炮系统产生一相等的向后动量。在无后座炮上是使一部分火药气体向后喷出产生向后的动量，从而使火炮基本保持平衡。

二、无后座炮是火炮和火箭的结合

无后座炮的工作原理不同于炮尾闭合的一般火炮。它的炮尾安装有喷管，火药气体经喷管向后流出。一般火炮的发射药是在密闭容器内燃烧；无后座炮的发射药是在半密闭容器中燃烧。

无后座炮的工作原理也不同于火箭。火箭的推进剂在弹内燃烧，燃气流的喷出是通过火箭喷管，火箭发射架仅是火箭弹的导引装置。无后座炮发射药在火炮药室内燃烧，火药气体是经火炮喷管流出，火炮既是导引装置，又是能量转换装置。所以无后座炮的工作原理是火炮与火箭的结合。

三、无后座炮是开口系统的热力装置

无后座炮的工作原理可以按工程热力学的观点来描述。工程热力学认为，凡是热力装置都是把热能转化为机械能。火炮是热力装置，它把火药的热能转化为弹丸运动的动能，把弹丸从炮管中发射出去，并赋予一定的炮口速度。火炮每发射一次，射出一发弹丸，也就是说火炮是在每循环一次中，损失一个活塞的热机。故可认为无后座炮是一种开口系统的热力装置。

§ 1-3 无后座炮的分类

一、按膛构造分

(一) 线膛式无后座炮：炮管内壁刻有膛线，可发射旋转稳定弹。它的射击密集度较好，但对使用空心装药破甲弹不利，因为弹丸旋转对集聚的金属流有分离作用，降低破甲效应。这种炮也可发射空气动力稳定弹。

(二) 滑膛式无后座炮：身管内膛是光滑的圆管，只可发射空气动力稳定弹（如尾翼弹）。此类火炮的优点是身管加工简单，寿命较高。目前空气动力稳定弹丸的射击密集度不如旋转稳定的好，但已取得明显的突破。

二、按能量获得原理分

(一) 普通无后座炮：弹丸的运动完全由火炮膛内装药燃烧产生的气体推动的。因有火药气体从喷管流出，一般初速不可能太高，限制了直射距离的提高。如果设法提高初速，则势必增加膛压，将造成喷管火孔严重烧蚀，冲击波噪声增大，甚至达到不可接受的程度。

(二) 增程无后座炮：弹丸除了获得火炮给予的炮口速度之外，还从弹丸发动机获得一定的速度，以此提高直射距离，但这种火炮多了火箭增程因素对精度的影响。

三、按装填方式分

(一) 前装式无后座炮：弹丸从炮口装入膛内。这种火炮的弹丸是超口径的，即弹丸直径大于火炮口径，因此战斗部弹径不受膛径限制，便于增大威力。这种火炮重量轻，结构简单，缺点是弹丸炮口速度小，射击密集度较差，弹丸较长，装填较慢，影响发射速度。

(二) 后装式无后座炮：弹丸从炮尾装入膛内。火炮赋予弹丸的炮口速度较大，射击密集度较好。装填方便，对提高发射速度有利，可配备地面密集度要求高的榴弹，扩大火炮的战术使用范围。

§ 1-4 无后座炮的优缺点

无后座炮的优缺点是由它的固有特性产生的。无后座炮的优点有三。

一、重量轻

这是由于无后座炮没有后座，不需要复杂的反后座装置和笨重的炮架。另外，无后座炮的发射药是在半密闭容器中燃烧，火药气体几乎是从发射药一开始燃烧就从喷管流出，所以它的膛压不可能高，身管壁可以较薄。还由于炮口是部分闭合膛底，所受膛底合力也小，所以使得炮身很轻。

据统计，口径相同炮口动能相当的一般野炮的重量是无后座炮重量的 8~10 倍。下面用表 1-1 所示的例子来说明。

表 1-1

火 炮	弹 丸 重 量 (公斤)	炮 口 速 度 (米/秒)	火 炮 重 量 (公斤)	η_g (公斤·米/公斤)
M20 75无	5.94	304.8	75.2	369.5
M1A1 75榴	6.08	304.8	653.2	44.1

表中 η_g 称为金属利用系数。

$$\eta_g = \frac{\frac{1}{2}mv_g^2}{Q} \quad (\text{公斤·米/公斤})$$

式中 m ——弹丸质量；

v_g ——弹丸初速；

Q ——火炮重量。

由表 1-1 可见，M1A1 75 榴弹炮的重量是 M20 75 无后座炮重量的 8.6 倍；威力和机动性这一对矛盾的处理达到了较好的水平，无后座炮在火炮中的金属利用系数是最高的（详见表 1-2）。

表 1-2

火 炮 类 别	加农炮	榴弹炮	高射炮	迫击炮	无后座炮
金属利用系数 η_g (公斤·米/公斤)	120~250	100~170	10~75	200~350	200~500

对于随伴步兵分队直接支援作战的火炮，重量的绝对值也是极为重要的。因为这种火炮的运动要靠人背马驮，由于步兵战士负荷已很重，那怕减轻很少的火炮重量，部队战士都是十分欢迎的。

二、结 构 简 单

无后座炮主要由炮身和炮架组成。中小口径无后座炮只有一二百个零件。结构简单，出故障的几率小，容易操作使用，便于维护保养，故障容易排除。

三、制造容易，造价低廉

易于组织大量生产，不需要稀缺的原材料，研制费用、生产成本、使用耗费等均较低。用作步兵团以下分队和单兵使用的大量装备，不仅装备、使用的费用低，而且可以形成近距离（1000 米左右）上密集有效的反坦克火力，从而可获得较大的作战效率和较高的效费比。

无后座炮也有明显的缺点，这些缺点同样是由火药气体经喷管流出造成的。其主要的有：冲击波噪声效应对人员和火炮器材造成严重威胁；喷出火药气体的闪光容易暴露目标；由于大量的火药气体流出，因此与同威力的一般火炮相比较，发射装药约须增加 2~3 倍；由于火药在半密闭容器中燃烧，膛压不易提高，因而难于获得较大的初速，射程也较近。

§1-5 发展方向

现代科学技术日新月异,兵器也在迅速地发展。无后座武器在现代化战争的反坦克作战中,发展方向是什么呢?要讨论这个问题,首先要搞清楚坦克装甲车辆的发展动态。据国外资料报导,当前世界上具有代表性的主战坦克和战车是苏T-72,美XM-1,西德豹-I以及苏BM1战车。而正在发展的主战坦克有苏T-80,西德豹-III。由这些主战坦克和战车的性能可以看出坦克装甲车辆当前和今后的发展动态有如下几个方面。

火力增强。主炮口径发展到120毫米以上,直射距离达2,000米,主炮之外配有机枪和各种反坦克弹以及反坦克导弹等。

机动性高。普遍采用柴油发动机作为动力,最高功率可达1,500~1,800马力,最大时速70公里/小时。目前正在研制2,400马力的新型发动机,从零加速到32公里/小时的速度只需6~7秒,行动、传动、操纵等系统的性能和减震吸功能力也都有较大的提高。

改进装甲防护。前甲板最厚,呈较好的流线型且有较大的倾角。主装甲一般采用防护性能更好的复合装甲。车体侧面设置薄的装甲裙板,前甲板也可加挂屏蔽装置。

装有先进的火控系统。包括双向稳定装置、激光测距机、弹道计算机、火控计算机、瞄准镜、夜视夜瞄装置等。这可使反应时间在10~15秒之内,使火力系统有较高的射击精度、射速和夜战能力。

根据国外主战坦克的性能及其发展动态,根据国内外当前无后座武器系统发展的情况,我们认为在现阶段无后座武器系统的发展方向是:

1. 提高直射距离。这可从研究无后座武器的气动力和弹道学理论,改进合膛结构设计方面着手,以便提高初速,改进火炮和弹丸结构。法国、意大利研究的无后座武器成功地实现了在药罩罩前面到弹头引信后面之间的空间装填可燃物,使弹丸结构空间得到了充分利用。另外,使用轻合金和合成材料制造弹的零件可以减轻弹丸重量,提高无后座武器的初速和直射距离。当然,采用火箭增程技术可提高无后座武器的合速度从而提高直射距离;研究新型发射药和推进剂也是提高无后座武器的速度和精度途径。

2. 增强威力。近年来我国在破甲弹方面的研究是有成绩的,达到了国际水平。但对新型复合装甲和发展中的高强度装甲必须开展新的侵彻机理和破甲机理的研究,必须对打步兵战车开展研究。

3. 提高机动性。在近距离上反坦克的无后座武器,提高其机动性应以轻为主;对远距离的反坦克无后座武器可以采取火炮自行,但它的防护“生存力”差。我们认为,应发展无后座炮和火箭筒结合的新型无后座系统。它的重量不超过15公斤,采用单人肩射。采用高强度轻合金和以金属为基体的玻璃纤维增强塑料等新型材料,减轻弹、炮重量,这个目标是可以实现的。

4. 提高射击精度。在提高火力系统精度的同时,必须开展瞄准镜、激光测距、热成像夜瞄仪、计算机等组成的火控系统的研究。现有的火炮若能配备先进的火控系统,就可把火炮系统的性能大大提高一步。主要表现在:命中率显著提高(特别是提高对目标的首发命中率);大大缩短从目标捕捉到开火的反应时间;由于火控系统的精度和火炮射击精度的提高,相应地提高火炮的有效射程和威力。

第二章 合膛结构设计

§ 2-1 概 述

无后座炮的合膛结构比一般火炮的复杂,形式也比一般火炮多样化。

合膛结构是火炮、炮弹和装药系统相互联系和制约的综合体。具体说,就是炮弹装入炮膛后弹炮结合的状态。它包括管膛、药室、炮弹、合膛闭锁机构等部分。因此它与装填方式、击发方式、弹丸稳定方式、装药结构的形式、喷管结构的形式、弹丸的起动和喷管的打开等诸因素有关。合膛结构是无后座炮设计的基础部分,内弹道设计方案,甚至火炮总体方案的实现,在某种意义上来说,决定于合膛结构的优化设计。从无后座炮系统来说,合膛结构设计可以解决火炮、炮弹和装药之间的相互协调和配合的问题。

一、合膛结构设计的基本考虑

(一) 炮弹的定位与合膛

击发、弹道的稳定性等因素要求炮弹装入炮膛应有一个确定的位置。这种要求是由炮弹与火炮轴向和径向(有的还考虑周向)定位来保证的。炮弹的合膛是一个很复杂的问题,要考虑很多因素。炮弹装填入膛时要顺利无阻滞,药室与管膛有一定的坡膛导引部,对线膛无后座炮,应保证弹带上的刻槽与膛线容易啮合,以排除可能因错位而导致的延迟。由于存在火炮身管、药室和炮尾之间的不同心度,身管内膛尺寸公差,椭圆度,弯曲度以及炮弹本身存在的不同心度,所以炮弹定心部与炮膛之间须有一定的间隙,才能保证合膛。这个间隙不能太大,一般为 $(0.001\sim 0.002)$ 倍火炮口径。这个间隙对弹道的稳定性,射击精度有一定的影响,而且容易造成击痕偏心(底火上的前后两次击痕偏心不超过1.2毫米)。为了使弹丸合膛闭锁确实,炮弹的后底端面与炮门闭锁的前端面之间要有一定的间隙,一般在 $0.5\sim 1.5$ 毫米之间。

(二) 炮弹的装填和击发方式

无后座炮炮弹装填有前装、后装两种方式。前装式火炮的弹丸一般是超口径的。这便于增加弹丸威力,火炮相对重量轻,结构简单。缺点是弹丸炮口初速小,射击密集度较差,炮弹的装填较慢,影响发射速度。一般无后座炮采用后装式,即炮弹是从炮尾装入炮膛。其优点是火炮赋予弹丸的炮口初速较大,射击密集度较好,装填方便,对提高发射速度有利。

无后座炮的击发方式有两种:电发火和机械发火。电发火方式要求弹的底火采用电底火。电发火结构对减轻火炮重量,简化结构有利。电源可用压电晶体结构,磁钢结构或电池。电发火方式的确实可靠性需要认真研究。

机械击发方式只要有关的保险机构考虑周全,设计合理,一般动作确实可靠。

两种击发方式都有侧击发和中心击发两种形式。对于机械式侧击发须使炮弹准确定位,保证击针对准底火。电发火的中心击发为防止电接触头的烧蚀和污染,炮弹多为带药筒的结构。由以上分析可看出,炮弹的装填和击发方式对炮和弹的合膛结构是有很大影响的。

(三) 装药的点火与正常燃烧

为了实现弹道设计中的弹道效果, 并保证其稳定性, 使初速有较小的偶然误差, 防止发射时在膛内产生严重的压力波而发生膛炸, 必须保证装药的正常点火与燃烧。反常的点火燃烧因素可能与下列因素有关:

1. 火药方面

(1) 火药的性质: 特别是火药的高低温性质容易表现出来。当高温时, 整个火药体接近同时着火, 从而产生膛压的突增。在低温时有两种理论: 一是温度低于火药的脆变温度, 机械强度大大降低, 受到冲击时易碎裂, 使火药燃烧面突增, 从而产生膛压突增(单基药不易产生脆变)。另一是在低温下, 火药点火热量不足, 火药发生了“无焰燃烧”, 也就是燃烧反应停留在中间阶段, 产生了中间燃烧产物, 这些中间产物积累到一定程度就可能发生爆燃。从一些实验曲线可以看到: 开始压力上升缓慢, 到某一点后发生压力直线上升的现象(图 2-1b)。图 2-1(a) 为火药正常燃烧的压力曲线。

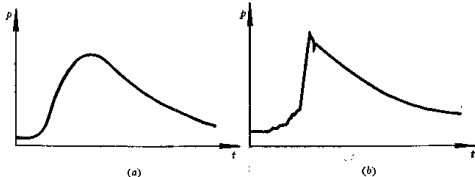


图2-1 火药燃烧实验曲线

(a) 火药正常燃烧; (b) 火药非正常燃烧。

(2) 火药的形状尺寸: 经验证明: 在膛内粒状药较管状药易产生压力波; 薄火药较厚火药易产生压力波; 当管状药充满药室 $2/3$ 长度以上时不易产生压力波。有孔火药, 内孔太小, 燃烧时, 孔内气体一时排不出来, 将药粒胀破, 增大了火药燃烧面积, 造成高压。

2. 装填条件

(1) 装填密度较大时, 点火后, 装药不能均匀全面点火, 同时因点火燃气通道小, 易产生压力波。

(2) 药室结构长径比过大时, 易产生压力波。

(3) 装药在药筒或药室中放置匀称时不易产生压力波。

3. 点火系统

(1) 底火冲量, 过大时易产生压力波, 且波幅大; 过小时易产生迟发现象。

(2) 局部点火, 局部点火较同时全部点火易产生压力波。局部点火引起压力波时, 若在 p_m 出现前衰减, 不会影响 p_m 和 v_0 ; 若未衰减, 则会增大 p_m 和 v_0 。若点火位置放在药室的后端, 由于点火药生成的气体易使喷管的密封盖过早地打开, 会使火药燃烧不好; 若放在药室的前端, 由于点火药生成的气体推火药向喷管方向运动, 则不但会使火药燃烧不好, 而且会使火药流失增加。

(3) 传火的影响, 采用中间点火和装药周围留有适当自由空间, 允许火焰的传播和局

部压力消散在整个药室内，可防止压力波的产生。但中心传火管的点火药的放置和传火孔的分布要合理。

4. 炮弹影响

在个别情况下，弹丸在膛内发生反常阻滞，可能产生较大的压力波，甚至膛炸。因此弹丸结构设计应保证在膛内运动的任何情况不发生异常的现象。同时为了消除射击中各发弹之间的弹道的跳动，必须保持药室里装药的静态和动态稳定性，因而装药部件的位置应尽可能固定。

5. 火炮影响

由于无后座炮药室大，压力低，不密闭，有火药气体流出，燃烧条件差，易出现燃烧不完全的现象。

综上所述可知，在无后座炮中，解决好点火与燃烧是一个十分重要的问题，其中最重要的是装药的结构设计。为了保证装药在射击过程中顺利进行燃烧，并能取得预期的效果，应使底火和点火药量有恰当的选择，装药元件有正确的结构和位置，各装药元件相互间有恰当的配合。

(四) 防止火药的流失

无后座炮有火药气体从喷管逸出，所以发射药易随火药气体经喷管流失。减少发射药的流失，对提高发射药的弹道效率和稳定性是十分重要的。实验证明火药的流失与下列因素有关。

1. 发射药的形状和尺寸

粒状火药容易流失；带状和管状火药由于纵向上的迎风而较小，燃烧着的火药所受向喷管方向运动的作用力就小，所以这种火药流失性较小；环状火药如果与炮弹上的尾翼环配合，流失性也小。因此为了减少发射药的流失，要恰当地设计火药的形状和尺寸。

2. 点火系统

实验表明，燃烧不完全的发射药易从喷管流失。在无后座炮中，要保证装药的正常燃烧，首先要设计一个适合于具体火炮结构的点火系统。

3. 挡药结构

挡药结构起防止火药流失的作用。无后座炮上的挡药结构种类很多。粒状火药装在有孔的药筒中燃烧，且药筒上的孔比药粒长度小，这样发射药不易从药筒中排出。又如带状火药，可以放在炮弹尾杆涡轮或尾翼环的前端，使燃烧着的发射药随弹丸一起运动，减少发射药的流失。

4. 药室结构

内膛径向尺寸较大的药室结构，可设想为无限大的理想容器。这样，药室内火药气体流速接近于零，而且在点火气体的冲击作用下，发射药可能在靠近药室内腔壁的部位燃烧，因此，可减小发射药的流失。内膛尺寸小的圆柱药室，火药气体在药室滞止点之后有一定的流速，发射药的流失会大一些。根据不同的装药结构设计不同的药室结构可以减少发射药的损失。对于圆锥体药室与有孔药筒的装药结构，发射药的损失，在20~25%左右。

5. 喷管结构

中心喷管有许多优点，但在一般情况下易从喷管流失没有燃烧完的火药。为了减少火

药的流失,可采用两侧式喷管结构,使发射药在扩大的药室燃烧,弹丸起动之后,火药气体才从药室前方的喷管流出。这可使发射药获得一个充分燃烧的条件。

(五) 喷管的高效应与冲击波噪声的低效应

为了获得高效应的喷管,设计时要求选择先收敛后扩散的拉瓦尔喷管的适当的膨胀比,尽可能减少各种损失。冲击波噪声值的大小影响火炮使用。降低冲击波噪声效应与装药的点火和燃烧,喷管效应等有矛盾。这些问题将在 § 4-4 中详细讨论。

(六) 合膛结构设计经济性

合膛结构是由火炮、炮弹和装药等组成的。在设计中可能相互间会出现一些矛盾。在解决这些矛盾时,既要考虑结构的合理性,也要考虑结构的经济性。例如,有的无后座炮把喷管结构设计在弹上,每一发炮弹带一个喷管结构。炮弹的消耗比火炮大的多。假设一门炮的寿命为 1000 发炮弹,火炮与弹之比就是 1/1000。而且还要增加炮弹的重量,从而增加战时的运输吨位,增加战士的负荷量。所以在经济性上应进行运筹分析,选择最经济合理的方案。

以上所提出的各点,以后有关章节中将详细论述。

二、合膛结构的分类

合膛结构依不同的分类方法可以分许多类型,但按装药结构来分,主要有两大类。

(一) 药包式装药的合膛结构

图 2-2 所示即为药包式装药的合膛结构。它由火炮、弹丸、装药、点火结构和密封结构五部分组成。下面分别讨论它们的构造和作用。

火炮:由身管、药室、炮尾、炮门、喷管、击发装置等组成。在无后座炮中,药室容积直接关系到压力能级和初速,相应地也关系到武器的重量和长度。在一定范围内最大压力和初速的变化均与药室容积的变化成反比。

在图 2-2 所示的结构中,药室为圆柱形,其内膛直径比口径适当扩大,这对于保证装药在膛内燃烧,降低膛压是有利的。某无后座炮药室内膛直径与口径的比 $D/d = 1.51$,最大压力 $p_m = 400$ 公斤/厘米²;而另一种同口径的无后座炮的 $D/d = 1.12$, $p_m = 800$ 公斤/厘米²。由此说明扩大药室是降低膛压的因素之一。

这种药室结构重量分布前后比较均匀,便于炮手的搬运。这一点对于营、连以下的人背马驮的反坦克武器尤为重要。

炮尾起连接炮门的作用。炮门起部分闭锁膛腔,构成喷管,安装击发机构的作用。

弹丸:这种弹丸一般为尾翼稳定的。这里仅介绍炮弹合膛状态中的几个问题。

炮弹轴向定位由炮弹上的喷孔密封板卡在炮尾内膛的突起部保证;径向定位由弹丸定心部与膛腔以及密封板与炮尾内膛的接触来保证。在大射角下炮弹装填后被炮尾内的凸笋卡住,不致下滑。

张开式尾翼要伸入膛腔。不然,弹丸起动后,尾翼在离心力的作用下张开,通过膛腔坡膛部时会损坏尾翼。

增程弹的发动机及其喷管的密封要确实。不然,发射药燃烧后产生的高压气体串入发动机内,会造成膛炸事故。

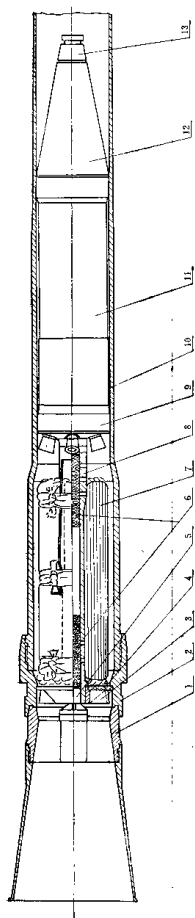


图2-2 药包式装药的合瓣结构

1—炮尾；2—炮尾；3—弹壳；4—定位板；5—点火；6—点火药；7—发药药；8—尾杆；9—发药药；10—身管；11—收平部；12—风帽；13—引信头腔。

在药室扩大比较小时,防止火药流失是很重要的问题。采用涡轮结构,可迫使发射药随弹丸一起运动,防止火药从喷孔流失。但涡轮的通气面积 S_0 要小于喷管喉部的临界面积 S_{kp} ,否则,不能起防止燃烧不完全的发射药流失的作用。

装药结构:对药包式装药,为了保证在膛内燃烧,减少从喷孔的流失,宜用条状或环状的速燃火药。

药包式装药的自燃问题应予注意。在火炮射速比较高的情况,炮尾、药室和身管的温度上升很快,而且达到很高的温度(约 300°C 左右)。炮弹装填之后,如药包与炮膛内壁之间有一定间隙,则引起自燃的时间相对地长一些。若药包与炮膛内壁直接接触,则引起自燃的时间相当地短,以致装填手的安全都没有保证。

有的药包式装药带纸壳,它可以提高装药的起始燃烧压力,也可以对装药自燃起一定阻止作用,还在保管中起密封防潮作用。但其缺点是,发射后膛内易留有残余的纸屑,影响火炮的继续射击。

点火结构:由底火、点火管、尾杆等组成。

在无后座炮中,装药和点火系统是实现内弹道设计方案,并影响其稳定性的重要因素。点火系统结构虽小,但它对内弹道的稳定性起的作用很大。

密封结构:炮门上喷管的密封是由密封板完成的。火炮发射药燃烧之后,药室达到一定压力时,密封板被冲碎,火药气体从喷孔流出,弹丸开始运动。该结构保证了喷管打开压力等于弹丸起动压力。这有助于弹道性能的均一性。

密封板可控制发射药的点火热量和压力,应选择材质均匀、性脆、且具有一定强度的材料制造,以保证密封板既破碎成小片,瞬时全部打开喷孔,又保持发射药一定的起始燃烧压力,减少固体发射药从喷孔流出的损失。

密封板增厚可以提高膛压,点火系统增强也可以提高膛压,所以密封系统的选择应与点火系统结合起来,从而寻求最佳合理方案。

有的炮弹装药部分有一个密封塞,弹丸底部有一个密封环。密封塞在火药气体推动下强制通过喷管喉部,以提高喷孔打开压力,改善发射药起始燃烧条件,提高膛压,减少火药流失。密封环密封弹炮之间的间隙,改善内弹道的稳定性,提高弹丸的密集度。

(二) 药筒式装药的合膛结构

火炮药室由圆柱形和前小后大的圆锥形组成。炮门座用螺纹连接在药室体上。炮门以断隔螺与炮门座啮合闭锁炮膛,并且构成四个弧形的喷孔。这种药室结构的优点是沿药筒长度压力分布相当均匀。若将药室改为反锥体的结构,由于药室后部狭窄,高速气流在药筒外部造成低压区,这样药筒内外的压力差足以引起药筒的破坏。

这种结构的特点,一是没有炮尾(炮尾作用由炮门座完成);二是药室庞大,重量集中。药室、炮门座和炮门之重占炮身全重的50%左右、不便于搬运。这是由于药室内膛与药筒之间必须有一定的间隙,其通气面积要大于喷管临界断面的面积 S_{kp} ,保证从药筒流出的火药气体顺畅地向后经四个弧形喷孔流出。喷管结构的选择是由装药性质和形状决定的。图2-3中所示之火药是粒状火药。这种火药在药筒内充分燃烧后从药筒小孔流出(难免含部分碎药片)。弧形喷管可使发射药损失减少,并提供一种药室容积最小而又重量较轻的喷管结构。

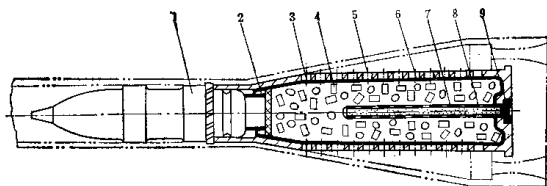


图2-3 药筒式装药的合膛结构

1—弹丸；2—定位件；3—排气孔；4—火药；5—药筒；6—衬纸；7—点火管；8—传火孔；9—底火。

弹丸可以是旋转稳定的，也可为尾翼稳定的。药筒口要设计成变形最小的，因为变形会妨碍发射后药筒的顺利抽出。

抽筒子一般是爪子钩式的。开闩时，抽筒子通过药筒底缘将药筒部分地抽出炮尾，然后由炮手取出。

火药气体从喷孔流出时须冲破密封着小孔的一层薄膜。薄膜的打开压力是很小的。薄膜起防潮密封作用。

药筒与弹丸须紧密结合。75毫米无后座炮要求拔弹力为50公斤，弹丸的起动压力为 1.1 公斤/厘米^2 。无后座炮铜制弹带通常预先刻槽以减小起动压力。可以认为喷孔打开压力与弹丸起动压力相等，而且近似为零。

§ 2-2 装药结构的一般知识

一、装药的定义、组成和作用

装药是炮弹的一部分，狭义的讲，是用来进行一次发射的包括定量火药各元件的组合。在无后座炮中，装药结构由底火、点火管、点火管（或点火盒）、火药、药筒（药包）、挡药件、封口件、防潮件和密封件等组成。

无后座炮装药的作用是在膛内产生一定的气体 and 热量，使弹丸获得一定的初速，同时使火炮保持平衡。

二、装药结构的种类

（一）有孔药筒装药结构

这类装药结构如图2-3所示。它用有许多排气孔的金属药筒挡药。射击时，火药在药筒内燃烧生成气体，经药筒上的小孔进入药室。

这种装药结构的优点是：可以减少火药流失，有利于内弹道性能的稳定；可以选用增面燃烧的多孔粒状火药，有利于降低最大压力；可采用较大的装填密度，所需药室容积较小，由于药筒的大部分表面不接触药室，故装药在灼热的膛内不易自燃，装药工艺性较好。

缺点是：因有金属药筒，故装药总重量比无药筒装药重30%以上，而且成本较高；射