

# 内 弹 道 学

一〇三教研室编

华东工程学院

一九七四年三月

TJ121  
3

40066

# 目 录

绪 论	1
第一篇 内弹道的理论基础	
第一章 火药然烧的规律性	
§ 1.1 火药的一般知识	5
§ 1.2 定容情况下的火药气体状态方程	13
§ 1.3 变容情况下的火药气体状态方程	20
§ 1.4 火药的几何燃烧定律	21
§ 1.5 气体生成速率	22
§ 1.6 形状函数	23
§ 1.7 多孔火药	29
§ 1.8 燃烧速度定律	33
§ 1.9 几何燃烧定律的应用和误差问题的讨论	37
第二章 射击过程中的能量转换及力和功的分析	
§ 2.1 火炮膛内结构的基本知识	39
§ 2.2 能量转换过程和能量平衡方程	43
§ 2.3 内弹道学基本方程	48
§ 2.4 弹丸运动的阻力和挤进压力	50
§ 2.5 弹丸运动时膛线导转侧作用在弹带上的力	51
§ 2.6 膛内火药气体压力的分布	54
§ 2.7 膛内火药气体压力的变化规律	58
第二篇 内弹道解法	
第三章 计及挤进压力情况下的 $l_0$ 弹道解法	
§ 3.1 基本假设	66
§ 3.2 内弹道方程组	67
§ 3.3 内弹道方程组的解法	68
§ 3.4 多孔火药弹道解法的特点	78
§ 3.5 例题计算	78
§ 3.6 关于弹道解法实践问题的讨论	81

## 第四章 内弹道表解法

§ 4.1 概 述 .....	85
§ 4.2 $\Gamma AY$ 表的编制原理 .....	87
§ 4.3 $\Gamma AY$ 表的结构和应用 .....	90
§ 4.4 混合装药及其表解法 .....	93
§ 4.5 表解法实践中的有关问题 .....	95
§ 4.6 例 题 .....	96

## 第五章 装填条件的变化对弹道性能的影响

§ 5.1 研究装填条件的变化对弹道性能影响的重要意义 .....	101
§ 5.2 各种装填条件的变化对弹道性能的影响 .....	101
§ 5.3 经验公式 .....	107
§ 5.4 保持最大压力不变的方法 .....	110

## 第三篇 弹道设计

### 第六章 弹道设计的理论基础

§ 6.1 弹道设计在武器设计中的地位 .....	113
§ 6.2 设计方案的评价标准 .....	117
§ 6.3 弹道设计的基本方程 .....	123
§ 6.4 内弹道设计表 .....	126
§ 6.5 弹道设计的指导图 .....	128
§ 6.6 弹道设计的步骤 .....	132

### 第七章 几种典型武器的弹道设计

§ 7.1 加农炮弹道设计的特点 .....	151
§ 7.2 榴弹炮弹道设计的特点 .....	154
§ 7.3 枪的内弹道设计 .....	165

附录 I $\lg Z^{-1}(\beta, \gamma)$ 函数表 .....	177
--	-----

附录 II 火药在密闭爆发器中燃烧时热散失的计算 .....	181
--------------------------------	-----

# 緒 論

毛主席教导我们：“备战、备荒、为人民。”“为建设强大的人民炮兵而奋斗。”

在现代战争中，各种类型的火炮和轻武器仍然是部队中的主要装备。正如伟大领袖毛主席指出：“战争来了，还是靠近战、夜战，还要靠两条腿，靠炸药，靠炮兵。要发扬我军近战、夜战的优良传统。”所以，为了保卫祖国的社会主义建设，巩固无产阶级专政，支援世界革命，我们必须继续加强对炮兵武器和轻武器的研制工作。

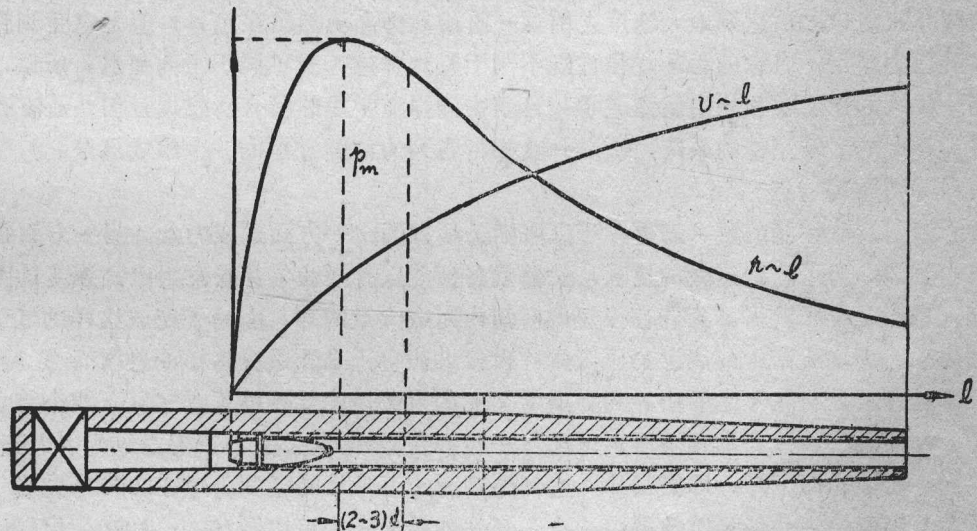
内弹道学是研究炮兵武器（包括轻武器）射击现象的一门基础科学，它是枪炮和弹药设计的基础理论之一，在枪炮技术中具有重要地位。因此，为了促进炮兵武器的研究和发展，必须学习、掌握和研究内弹道学的理论及其实践知识。

这里，我们将首先对内弹道学的研究对象、任务和方法等作出简要的说明。

## 1. 火炮的射击过程

射击过程是从击发开始的，通常是利用机械作用使火炮的击针撞击药筒底部的底火，使底火药（通常是雷汞、氯酸钾和硫化锑的混合物）着火，底火药的火焰又进一步使底火中的点火药（通常是黑火药或多孔性硝化棉火药）燃烧，产生了高温高压的气体和灼热的小粒子，通过小孔喷进装有火药的药室，从而使火药在高温高压的作用下着火燃烧，这就是所谓点火过程。

在完成了点火过程之后，随着火药的燃烧，产生了大量的高温高压的气体，推动弹丸向前运动。但因弹丸的弹带直径略大于膛内阳线直径，所以在弹丸开始运动时，弹带是逐渐挤进膛线的，前进的阻力也随着不断增加，当弹带全部挤进膛线时，即达到最大阻力，这时弹带被刻成沟槽而与膛线完全吻合，这个过程称为挤进膛线过程。



膛内压力(P)和速度(v)随行程(l)变化的曲线

当弹丸的弹带全部挤进膛线之后，阻力即急速地下降。随着火药的继续燃烧，不断产生具有很大做功能力的高温高压气体。在这样的气体压力作用下，弹丸一方面沿着炮管轴线方向向前运动，另一方面又沿着膛线进行旋转运动。在弹丸运动的同时，正在燃烧的火药和火药气体也随同一起向前运动，炮身则向后运动。所有这些运动形式都是同时发生的，从而组成了复杂的膛内射击现象。随着这种过程的进行，弹丸的速度不断增加，当弹底达到炮口的瞬间，这时的弹丸速度即称为炮口速度或初速。以后弹丸即离开炮口在空中飞行。在这个过程中的膛内压力和弹丸速度变化如上图所示。

当弹丸飞出炮口之后，在它后面的火药气体也随着一起流出，由于这时气体的速度大于弹丸的速度，所以对弹丸仍然起一定的推动作用，从而使弹丸的速度继续增加。但是，由于气体出炮口之后，要向四周迅速扩散，因而在炮口前的一定距离上，火药气体的速度即很快地衰减到小于弹丸运动的速度，对弹丸不再起作用，这时弹丸就达到射击过程中的最大速度。

当弹丸在炮口前一段距离上达到最大速度之后，它就完全摆脱了膛内各种因素的影响，并以这样的速度按起始射角方向在空气阻力和重力作用下做抛物运动，以一定的弹道和一定的速度击中目标。这样就完成了整个射击过程。

### 2. 内弹道学的研究对象

从以上简单描述的射击过程中可以看出，弹丸是按一定规律运动的。凡是研究有关弹丸运动规律的科学称为弹道学。

不难看出，弹丸在整个运动过程中以炮口为分界线可以区分为两个显著不同的阶段，从而构成了如下两种不同性质的弹道学。

(1) 内弹道学——是专门研究弹丸在膛内运动规律的科学。它所研究的对象是膛内的射击现象，包括火药在膛内燃烧规律、弹丸运动的规律、以及膛内压力变化规律等方面的内容。

(2) 外弹道学——是专门研究弹丸在空气中运动规律的科学。

但是，这里必须指出，按照射击过程仅划分为膛内和膛外两个阶段是不够完善的。例如，在弹丸出炮口之后达到最大速度之前这一阶段，弹丸虽然已在膛外，但是它受到膛内流出气体的压力作用，使它的运动规律性既不同于膛外弹道，又不同于膛内弹道。所以，通常又将这一阶段的弹道学称为中间弹道学。目前中间弹道学虽然已有所发展，但是还没有象内外弹道那样形成比较完善的系统，所以一般都将它列为内弹道学的一个组成部分。

### 3. 内弹道学的特点

对于武器战斗性能的要求而言，可以概括为两方面：一方面是威力大，另一方面是机动性良好。显然，为了达到这样的要求，武器就必须能以有限长的身管发射出高速度的弹丸。这实际上也就是要求武器必须能在很短的时间内完成大量的功。而为了完成这样的过程，就必须利用火药燃烧所产生的高温高压气体。现代火药也正是为适应这样的要求而发展起来的。根据这样的分析，不难看出，内弹道学研究的射击现象就不能不具有以下四个特点：

(1) 高温——火药的燃烧温度很高，一般都在 $3000^{\circ}\text{C}$ 左右。在射击过程中火药气体的温度因膨胀做功而下降，即使当弹丸达到炮口时，下降后的温度仍然在 $2000^{\circ}\text{C}$ 左右。

(2) 高压——一般线膛武器中，火药气体的最大压力可达到 $2500\sim 3300$ 公斤/厘米<sup>2</sup>，迫击炮和无后座炮的最大压力虽然较低，但仍达到 $300\sim 700$ 公斤/厘米<sup>2</sup>。

(3) 高速——一般线膛武器的弹丸初速可以达到300~1000米/秒，迫击炮和无后座炮的弹丸初速虽然较低，但也仍达到250~300米/秒。

(4) 时间短——一般长身管的炮，射击过程只有百分之一秒左右，而一般的枪只有千分之几秒。

除了上述各种特点之外，从射击现象的本质来讲，不论是火药的燃烧还是弹丸的运动等现象，都是属于一般的物理和化学现象。但是，由于这些现象既是同时发生，而且又是互相制约和互相影响的，从而构成了错综复杂的射击过程。正因为这种过程所发生现象的多样性和复杂性，从而与一般的物理化学过程有所区别。所以内弹道的研究也就不同于一般物理化学过程的研究。不论在理论方面还是在实验方面都表现出一定的特点。

#### 4. 内弹道学的任务

毛主席教导说：“马克思主义的哲学认为十分重要的问题，不在于懂得了客观世界的规律性，因而能够解释世界，而在于拿了这种对于客观规律性的认识去能动地改造世界。”我们研究射击现象的目的也并不是仅仅为了认识现象，而是通过对这种现象的认识去改进现有的武器和创造新的武器。事实上，内弹道的理论和实践就是武器设计的一个基础，通过内弹道的计算可以为武器设计提供必要的的数据。枪炮的身管长度、药室容积、装药量以及火药尺寸等所有这些内弹道的计算数据，是火炮设计、弹丸设计、药筒设计和火药设计的基本依据。例如，在计算出膛内的最大压力和压力随弹丸行程的变化规律之后，即可根据这些数据设计出既符合强度要求，又不使重量过大的合理的身管。除了武器设计之外，内弹道实验的检验又是所有武器定型或验收的主要依据。例如，检验武器的最大压力和初速是不是符合规定要求，或者通过装药等各种条件的改变使武器能够满足一定的弹道要求等都是内弹道在生产实践中的应用。所有这些情况都清楚地表明了内弹道学在武器设计和生产中占有重要的地位。

内弹道学既然是武器设计的基础，所以在整个武器系统中，它同火炮、弹丸以及火药等学科都有密切的联系，内弹道学的研究和发展将促进武器的发展。同样，新的战术技术要求以及武器的发展也将推动和促进内弹道学的发展。

#### 5. 内弹道学的研究方法

如前所述，内弹道学是研究膛内射击现象的科学。而射击现象的发生及其规律性是与武器弹药本身的结构、性能和特点等分不开的，所以为了研究内弹道学，首先必须掌握一定的火炮和弹药知识。

射击现象是复杂的，但是也是可以认识的。我们研究内弹道学就是要通过各种现象来研究射击过程的本质，以便找出它们的内在规律，也只有掌握了内在规律，才能达到控制射击现象的目的，也才能使我们在内弹道学研究领域中得到自由。那么如何才能达到这一目的呢？毛主席指出：“分析好，大有益。”所谓分析，就是分析事物的矛盾，也只有分析了矛盾，才能提出解决矛盾的方法。在分析的基础上，我们就可以利用力学、热力学以及化学等基础知识，对于不同质的矛盾采用不同的方法去解决。在解决矛盾的过程中还必须利用数学的基础知识。

毛主席还教导我们：“通过实践而发现真理，又通过实践而证实真理和发展真理。”内弹道实验应该是内弹道学的一个重要组成部分，也是检验内弹道理论的根本依据。因此，同

其他科学一样，内弹道学也正是在理论和实验的相互促进和相互提高的基础上发展起来的。虽然由于射击现象的复杂性以及高温、高压、高速和时间短的特点，给予内弹道实验带来一定的困难，但是由于现代电子技术的发展，大大地促进了弹道仪器的发展。测量高速和高压的仪器已经大量使用，为剖析射击现象提供了必要的工具。为了能掌握内弹道实验的内容和方法，并能正确使用实验仪器，必须掌握物理学和电子学的有关知识。

以上我们全面地介绍了有关内弹道学的研究对象、涉及的学术领域以及在武器设计中的地位等。通过这种内容的介绍，使我们认识到学习内弹道学的主要意义。因此，我们必须重视这门科学的研究，为加强我国的国防建设而奋斗。

# 第一篇 內彈道的理論基礎

在緒論中曾經指出：射擊過程是一個極其複雜的過程，它包括有各種形式的運動及一系列的能源轉換。例如彈丸的直線運動和旋轉運動、火藥氣體和未燃完的火藥固體的運動以及炮身的後座運動；火藥燃燒生成高溫高壓的火藥氣體，即把火藥的化學能轉換為火藥氣體的熱能，而火藥氣體膨脹對彈丸做功，則是火藥氣體的熱能轉換為彈丸運動的動能。

為了認識複雜的射擊現象，我們應當遵循毛主席的教導：“在複雜的事物的發展過程中，有許多的矛盾存在，其中必有一種是主要的矛盾，由於它的存在和發展，規定或影響着其他矛盾的存在和發展。”分析了射擊過程中的各種矛盾之後，清楚地表明，在所有的矛盾中，火藥燃燒生成高溫高壓的氣體是射擊過程中的主要矛盾。正由於這個主要矛盾的存在和發展，才規定或影響了其他各種矛盾的存在和發展。因此，在我們分別研究射擊過程中的各種矛盾時，首先研究的就是這個主要矛盾。找出有關這種矛盾的發展規律，然後再研究其他各次要矛盾以及各矛盾間的互相聯結。關於這部分內容，我們將把它分成兩章進行介紹。前者就是第一章《火藥燃燒的規律性》的主要內容，後者就是第二章《射擊過程的能源轉換及力和功的分析》的主要內容。

## 第一章 火藥燃燒的規律性

### § 1.1 火藥的一般知識

到目前為止，火炮或輕武器仍都以火藥作為射擊的能源。因此在這裡先介紹一下火藥的一般知識。

#### 1. 什麼是火藥

火藥所以能成為火炮的良好能源，主要是因為它具有這樣一些優點：首先，火藥是一種固體物質，使用比較方便。其次，它可以在密閉的情況下，經過點火作用產生急速的化學變化，分解出大量的高溫氣體，在一定的條件下膨脹做功，從而使炮膛中的彈丸獲得較大的速度。而且還可以通過火藥的成分、形狀和尺寸的變化，控制它的燃燒規律，從而控制射擊現象，達到我們所要求的彈道性能。

#### 2. 火藥的分類

火藥通常分為混合火藥和溶塑火藥兩大類：

##### (1) 混合火藥

所謂混合火藥就是以某種氧化劑和某種還原劑為主要成分，並配合其他成分，經過機械混合和壓制成形等過程而製成。黑藥就是一種典型的混合火藥。它是由硝石75%、木炭15%和硫磺10%三種成分組成。過去，這種火藥曾作為發射藥使用。但因它的能源較小，燃燒後



又有较多的固体残渣易使炮膛污染，因而在出现了溶塑火药之后，很快被淘汰。但是由于它的着火速度很快，燃烧后所形成的炽热固体粒子易于起引燃作用，所以目前它仍被广泛地作为点火药使用。

## (2) 溶塑火药

溶塑火药的基本成分是硝化纤维素。任何纤维素脱脂后，用浓硝酸和浓硫酸组成的混酸处理，经过硝化作用，就可以制成硝化纤维素。由于一般都采用棉纤维为原料，所以习惯上都称之为硝化棉。如果混酸的组成不同，硝化的程度也将不同，因而制成硝化棉的化学组成也就不同。通常都以单位重量硝化棉的含氮量百分数来表示这种组成。现在溶塑火药所采用的硝化棉，按含氮量来区分，主要有以下三种：

- ①1#棉，又称强棉，含氮量为13.0%~13.5%
- ②2#棉，也称强棉，含氮量为12.05%~12.4%
- ③3#棉，称为弱棉，或称胶棉，含氮量为11.5%~12.1%

硝化棉溶解于某些溶剂后，可以形成可塑体，再经过一系列的加工过程，就可以制成溶塑火药。由于所用的溶剂不同，就可制成不同类型的溶塑火药。现代的溶塑火药主要有以下三类：

### ①硝化棉火药

这类火药是用1#棉和2#棉的混合物溶于醇醚溶剂中，形成可塑体压制成型，再经过浸泡把醇醚溶剂排出，最后烘干而制成。火药成品中含有少量的水分和剩余溶剂。为了防止保存期间的分解作用，还附加有像二苯胺这样的安定剂，所以硝化棉火药的成分一般包含有：

硝化棉	94~98%
挥发性溶剂	0.2~5.0%
水分	0.8~1.5%
安定剂(二苯胺)	1~2%

硝化棉火药按其成分来讲，硝化棉是唯一的主要成分，故称单基药。而按溶剂性质来讲，醇醚是属于易挥发的溶剂，故又称为挥发性溶剂火药。

硝化棉火药在制造成形时，为了使得溶剂易于排除，火药厚度不能不受到一定的限制，因而这类火药常应用于中小口径的武器中。由于这类火药含有挥发性溶剂和具有一定的吸湿性，因而在保存期间，随着溶剂的挥发和水分的变化，将会使火药的弹道性能发生变化。所以为了保证弹道的稳定性，这类火药在保存时应该具有良好的密封条件。

### ②硝化甘油火药

硝化甘油是一种难挥发的液态爆炸性物质。它可以溶解含氮量较低的3#硝化棉，形成可塑体。压制成形后，也可以制成溶塑火药。这类火药的成分一般包含有：

硝化棉	30~60%
硝化甘油	25~40%
安定剂	1~5%
水分	0.5~0.7%
其他成分	1~3%

同硝化棉火药的成分相比较，这类火药具有两种主要成分即硝化棉和硝化甘油，故称双基药。从溶剂的性质来讲，这类火药中的硝化甘油是难挥发性溶剂。为了与硝化棉火药的挥发性醇醚溶剂相区别，故又称难挥发性溶剂火药。

同硝化棉火药的性能相比较，这类火药由于在制造过程中没有挥发性溶剂的排除问题，因而生产周期较短，并适宜于制造厚度较大的火药，所以这类火药常应用于较大口径的火炮中。又因为硝化棉和硝化甘油的比例可以在较大范围内变化，所以这类火药的能量能满足多种弹道性能的要求。但是，这种火药的燃烧温度较高，对炮膛烧蚀较重。此外在保存期间，硝化甘油易于渗出，出现所谓“渗油”现象，影响物理安定性。

为了降低这种火药对炮膛的烧蚀现象，可在其中加入一些降温剂。目前常用的降温剂大都是芳香族化合物，如二硝基甲苯，它们本身是缺氧物质，所以加入双基药后能降低火药的氧平衡，从而降低了火药的燃烧温度。此外，二硝基甲苯还是增塑剂，对硝化棉有溶解能力，使火药结构更加緻密，不易吸湿。这种火药可用在大口径火炮中。它们又称为双芳型火药。

事实上，现在的所谓双基药已不单纯是指硝化甘油火药，凡是与硝化甘油性质类似的爆发性物质并能代替硝化甘油而与硝化棉制成溶塑体的，都可以制成双基药。例如以硝化二乙二醇作为硝化棉的溶剂所制成的硝化二乙二醇火药也是双基药。常用的硝化二乙二醇火药的型号有两种：一种是在其中加入降温剂二硝基甲苯，称乙芳火药；不不加的就称双乙火药。

硝化二乙二醇火药的能量稍低于硝化甘油火药，但它对炮膛的烧蚀比硝化甘油火药要小，这是它的一个主要优点。

### ③硝基胍火药

硝化二乙二醇火药的燃烧速度比较慢，如果在其中加入20~30%的硝基胍，则可以克服这一缺点。在硝化二乙二醇火药中加入硝基胍，就是硝基胍火药。由于硝基胍中含氢和氮比较多，含氧较少，所以硝基胍火药的燃烧温度比较低，对炮膛的烧蚀比较小，因此常称硝基胍火药为“冷火药”。又因它的主要成分有三种，即硝化棉、硝化二乙二醇和硝基胍，所以又称三基药。

## 3. 火药的性质

溶塑火药是属于固态胶体。根据火药的成分及厚度的不同呈半透明或不透明状。硝化棉火药一般为灰黄色略带绿色，硝化甘油火药为棕褐色。在强度方面，前者比较坚硬，后者比较柔软并有弹性。在外观方面，前者比较粗糙无光泽，后者比较光滑，略有光泽。

步兵武器用的小粒火药，为了增加装填密度，并避免相互摩擦产生静电，表面都滚有石墨，所以小粒枪药的外观不但光滑，而且有黑色光泽。

溶塑火药的成分是决定火药的物理化学性能和燃烧性能的内因。成分不同，物理化学性能和燃烧性能也将不同，因而在武器中所表现出的弹道性能也各不相同。因此，对于火药的研究，首先就必须引进一些物理量来描述火药的各有关性质。这些量我们统称为火药的特征量。其中描述成分的称为成分特征量，而描述有关能量性质的则称为能量特征量。现将这两类特征量分别说明如下：

### (1) 成分特征量

標誌溶塑火药成分的主要是以下两个量：

①含氮量  $N\%$

这个量在前面已经作出说明。它是標誌火药性能的一个重要特征量，因为它的大小直接影响到燃烧反应完全的程度和能量释放的多少。含氮量愈高，能量释放得愈多，火药气体的做功能力也愈大。

②挥发物含量  $H\%$

在硝化棉火药中所残存的醇醚溶剂和水分含量的总和称为挥发物含量。这种挥发物的存在将降低火药所释放的能量。所以对同一火药而言， $H$ 值愈大，作功能力愈小。

以上两种特征量主要地适用于硝化棉火药，对于硝化甘油火药就不完全适用，因为这类火药的性质主要地决定于硝化甘油和硝化棉这两种成分的比例。它虽然也有一定的水分，但含量很小，对火药性能並不产生显著的影响。

此外，火药密度 $\delta$  (公斤/分米<sup>3</sup>)也是一个標誌火药性能的物理量，这个量的大小主要是体现火药结构的密致性，因此，在很大程度上与压制成型的工艺条件有关。

(2) 能量特征量

火药所以能在炮膛中于极短时间内完成大量的功，其原因即在于它在燃烧过程中放出大量的气体和热量，而这种热量又是以增高气体温度作为内能的形式储存在气体之中。因此，火药生成的热量，气体量，以及气体温度这三个量就能体现出火药气体做功能力的大小，即称之为火药的能量特征量。现将这三个量的定义说明如下：

①爆热  $Q_{(水)}$

一公斤火药在定容情况下燃烧并将其气体冷却到  $15^{\circ}\text{C}$  时所放出的热量，称为火药的爆热，单位为千卡/公斤。这里应该指出，火药燃烧所生成的水分本来是以气态存在，冷却到  $15^{\circ}\text{C}$  时则是以液态存在，正因为水分状态不同，热量值也不相同， $Q_{(水)}$  即表示水分以液体状态存在时的爆热。火药的  $Q_{(水)}$  愈大，一般说来，做功的能力也愈大。

②火药气体的比容  $w_1$

火药燃烧后生成有一氧化碳，二氧化碳，水蒸气，氮气，氧化氮及氢气等气体。不同的火药所生成的这些气体成分各不相同，因而在同一状态下的气体体积当然也不相同。燃烧一公斤火药所产生的气体，在压力为 1 个大气压和温度为  $0^{\circ}\text{C}$  时所佔有的体积，称为气体的比容。我们即以这样的体积来標誌火药所产生的气体多少，单位为分米<sup>3</sup>/公斤。显然，从做功能力来讲， $w_1$  愈大，则在同样的其他条件下，火药的做功能力也愈大。

③燃烧温度  $T_1$

在火药燃烧时，如果生成的气体沒有做膨胀功，也沒有任何热量的损失，那么在这种情况下，火药所释放的热量完全以内能的形式储存在气体之中，这时的气体温度也应该最高，我们称之为火药燃烧温度  $T_1$ 。当然，火药气体的  $T_1$  愈大，做功能力也应愈大。

说明了以上各特征量之后，现在我们即将一般的硝化棉火药和硝化甘油火药的各特征量列表 (1.1)。

火药的特征量

表1.1

特 征 量	硝化棉火药	硝化甘油火药
爆热 $Q_w$ 千卡/公斤	900—800	1100—1200
气体比容 $w_1$ 分米 <sup>3</sup> /公斤	900—970	860—800
燃烧温度 $T_1$ °K	2800—2500	3000—3500
挥发物含量 $H\%$	2.0—7.0	0.5
火药密度 $\delta$ 公斤/分米 <sup>3</sup>	1.62—1.56	1.62—1.56

#### 4. 火药的形状和尺寸

根据武器的弹道性能及实际装药的需要，火药都要有一定的形状和尺寸。这是因为火药燃烧时气体生成的速度是与火药的表面面积有关的，而在燃烧过程中火药的表面面积的变化决定于火药的厚度和形状。因此我们可以通过对火药形状和尺寸的改变来调整在单位时间内火药气体的生成量，从而调整膛内压力变化的大小和规律，以保证在射击时得到所需要的弹丸速度。因此，火药的形状和尺寸是火药分类的一个重要标志。

现代武器所应用的火药形状是多种多样的。常见的有管状、带状、片状、棍状、球状和圆环状等简单形状，以及七孔、花边形七孔、花边形十四孔等复杂形状。在大口径火炮中常用长的管状药，在中小口径火炮及大口径的轻武器中常用七孔药，在小口径的轻武器中常用短管状药或球状药，在无后座炮中根据具体的装药结构，有的用花边形七孔或十四孔药，也有的用带状药，在迫击炮中常用圆环状及带状药。火药的尺寸都是根据一定的要求来设计和制造的。几种典型火药形状如图（1.1）所示。

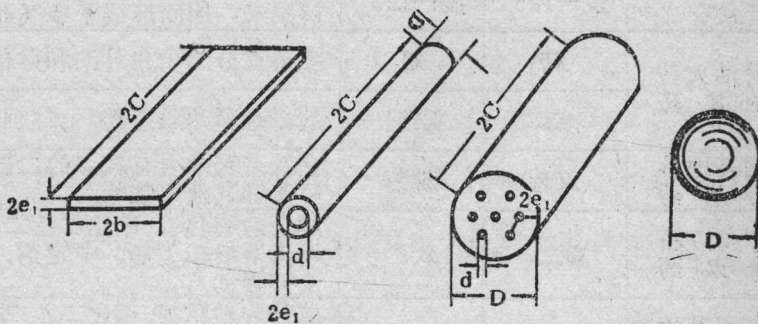


图1.1 典型火药形状图

对于火药的尺寸，我们用以下符号来表示：

$2e_1$  表示火药的厚度，或称肉厚，在管状或多孔粒状中称为弧厚；

$2b$  表示火药的宽度；

2c 表示火药的长度；

D<sub>0</sub>和d<sub>0</sub> 各表示管状和多孔粒状药的外径和孔径。

因为火药形状和尺寸的变化将直接影响弹道性能的变化，因此在生产时，对于火药的形状和尺寸，其中特别是厚度，都有严格的要求。

为了简明地表示出火药的性能、形状、尺寸以及有关的生产条件，通常对生产的每一批火药都註明一定的标誌，即火药的牌号。现将火药牌号的标誌方法介绍如下：

火药种类标誌

表1.2

火药名称	火药种类		说明
	现用标誌	原用标誌	
硝化棉火药 或单基药	(不标)	单	主要成分为硝化棉
		单新	新鲜硝化棉火药
		单高	高氮量硝化棉火药
		单低	低氮量硝化棉火药
		单迫	迫击炮用硝化棉火药
		轻单	53式7.62步机枪弹用的硝化棉火药
		缩单	56式7.62步机枪弹用的硝化棉火药
	多—45	多—45	多气孔单基药。100份硝化棉中加入45份或125份的硝酸鉀再经过热水浸泡又把硝酸鉀溶解出来，因而形成了多气孔。
	多—125	多—125	
硝化甘油火药 或双基药	双	双	主要成分为硝化甘油和硝化棉
	双	双迫	迫击炮弹用双基药
含二硝基甲苯的双基药	双芳	双芳	在双基药中含有较多的二硝基甲苯和其他附加物
硝化二乙醇火药	双乙	双乙	成分为硝化棉、硝化二乙二醇、苯二甲酸二丁酯、中定剂、凡士林等。
含二硝基甲苯的硝化二乙醇火药	乙芳	乙芳	成分为硝化棉、硝化二乙二醇、二硝基甲苯、中定剂、凡士林等。

双基药热量等级标记 表1.3

等级标记	说 明
2	表示热量为710千卡/公斤
3	表示热量为765千卡/公斤
4	表示热量为820千卡/公斤

火药种类补助标志 表1.4

补助标志	说 明
樟	用樟脑钝化处理
石	表面用石墨光泽处理
松	含有松香，起消焰作用
钾	含有硫酸钾，起消焰作用
腊石	含有地腊，表面又经石墨光泽处理
空	专用作空包弹的无烟药
花	花边形多孔药

火药形状尺寸标志 表1.5

火药形状	尺 寸 标 志
片状和带状	厚度(以0.01毫米计) — 宽度(以毫米计) × 长度(以毫米计)
环 状	厚度(以0.01毫米计) — 内径(以毫米计) / 外径(以毫米计)
管 状	厚度(以0.1毫米计) / 1(表示单孔) — 长度(以厘米计)
多孔粒状	厚度(以0.1毫米计) / 孔数

火药批号、制造年份及制造厂代号标在上述各种标记的后面，标记形式如下：  
批号/制造年份——制造厂代号

完整的火药牌号表示法举例

表1.6

火 药 牌 号	说 明
双95-5×250 2/60-45	双：双基药 带状药 95：厚度为0.95毫米 5：宽度为5毫米 250：长度为250毫米 2/60：60年第2批 45：制造厂代号
双14-32/65 8/64-35	双：双基药，环状药 14：厚度为0.14毫米 32：内径为32毫米 65：外径为65毫米 8/64：64年第8批 35：制造厂代号
双芳-3 18/1-26 2/70-45	双芳：含二硝基甲苯的双基药 3：热量为765千卡/公斤 18：弧厚为1.8毫米 1：单孔，管状药 26：长度为26厘米 2/70：70年第2批 45：制造厂代号
7/14花 4/68-25	单基药（不标） 7：弧厚为0.7毫米 14：十四孔 花：花边形 4/68：68年第4批 25：制造厂代号
3/1樟 3/71-25	单基药（不标） 3：弧厚为0.3毫米 1：单孔，粒状药 樟：用樟脑钝化处理 3/71：71年第3批 25：制造厂代号

### 5. 火药装药

火药装药是弹药的一个组成部分。通常是指在保证武器具有一定的弹药性能的条件下进行一次射击所需的定量火药及其他所有的附件，有时还把药筒和点火具也包括在内。

一般的火药装药除了装有一定性能和形状尺寸，以及一定重量的火药之外，还装有以下一些元件：

(1) 点火药：它用于点燃火药以保证火药能够正常地燃烧。通常都使用黑药作为点火药。

(2) 护膛剂：它用于保护膛壁以减少火药对膛壁的烧蚀作用。目前所应用的护膛剂多是

以石腊、凡士林及地腊等混合物所浸透的纸片，称为钝感衬纸。此外，还有多种金属氧化物也可用作护膛剂。

(3)除铜剂：它用于清除铜质弹带沿膛线运动时因切割和摩擦所产生的积铜。通常都使用锡和铅等易熔合金作为除铜剂。

(4)消焰剂：它用于减少射击时所产生的炮口焰或炮尾焰，通常都采用氯化钾、硫酸钾及草酸钾等钾盐作为消焰剂。

除了以上一些主要元件之外，还有紧塞盖和固定装药的纸垫和纸筒，也是一种辅助元件，它们的作用是防止在运输时火药的窜动。

不过，这里应该指出，以上所列举的各元件，都是就一般火炮的装药而言，而在步兵武器的装药中仅由火药及点火药这两部分组成，并没有其他元件。

在中小口径火炮中，装药是盛装在药筒中并与弹体固定成为一个整体，组成了所谓一发弹药。但是在大口徑火炮中，由于弹体及装药都较重，为了装填方便起见，弹体和装药不得不分开装填。正因为这种装填方法的不同，我们称前一种装药为定装式，后一种装药为分装式，下面就是这两种形式的装药图。

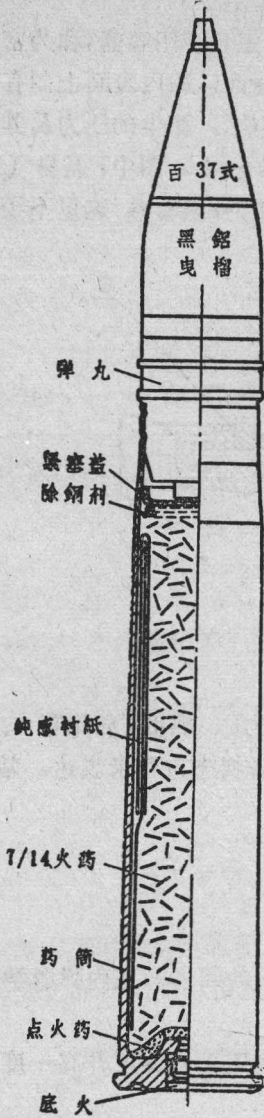


图1.2

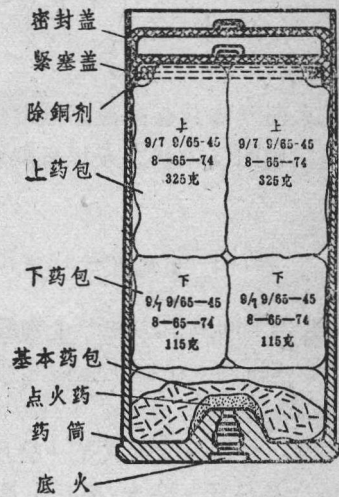


图1.3

### § 1.2 定容情况下的火药气体状态方程

火药在火炮中燃烧产生高温高压的气体，这是推动弹丸的能量来源。因此要想掌握射击时的膛内压力变化规律和弹丸运动的规律，就必须研究火药气体的压力、温度与比容之间的



关系，这也就是火药气体的状态方程。

为了简单起见，我们首先研究在定容的密闭容器中的压力变化规律。因为在这种情况下，不仅没有体积的变化，而且气体没有做功，这就要比膛内的情况简单得多。此外，根据这种没有做功情况下的气体压力变化规律，也比较容易确定出火药的性质及其燃烧规律。因此，定容情况下气体状态方程的研究也是内弹道学中的重要部分，我们可以由此确定火药燃烧的规律性，以及确定表示火药性质的某些弹道特征量。

为了研究定容情况下的压力变化规律，在内弹道试验中使用定容密闭容器，称为密闭爆发器(图1.4)。密闭爆发器的本体是用炮钢制成的圆筒A，在其两端开口的内表面上制有螺纹。一端旋入点火塞B，依靠电流点燃点火药C，从而使火药D着火燃烧。产生的压力及其随时间的变化规律则由另一端旋入的测压传感器E并通过各种记录仪器记录。图中F是排气装置。在《内弹道实验指南》中对实验设备及实验方法都有详细的介绍，可以参考，这里不予重复。

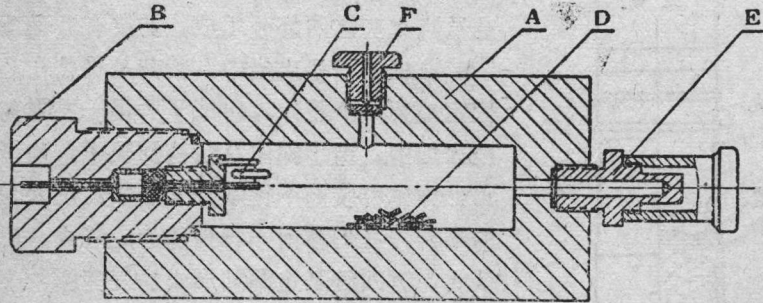


图1.4 密闭爆发器

### 1. 方程的建立

在炮膛内，火药气体具有高温高压的性质。显然，它的压力 $P$ 、温度 $T$ 和比容 $w$ 之间的函数关系是不能用理想气体状态方程来表达的，必须用真实气体状态方程来表达。常用的是范德瓦耳方程：

$$\left(P + \frac{a}{w^2}\right)(w - \alpha) = RT$$

式中 $a/w^2$ 是反映分子间吸引力的一个物理量。

$\alpha$ 是气体分子体积的一个修正量，它等于气体分子本身体积的四倍。在内弹道学中称为余容。单位为分米<sup>3</sup>/公斤。

$R$ 是气体常数。它的物理意义是一公斤火药气体在一个大气压下，温度升高一度对外膨胀所做的功。单位是公斤·分米/公斤·度。

$w$ 是气体的比容。它表示为一公斤火药气体所占的体积。单位是分米<sup>3</sup>/公斤。

由于火药气体的温度很高，即使气体的密度很大，分子间的引力也相对很小，所以式中 $\frac{a}{w^2}$ 项可以忽略不计。但由于压力很高，必须考虑余容的修正，于是上式可以简化成：

$$P(w - \alpha) = RT$$