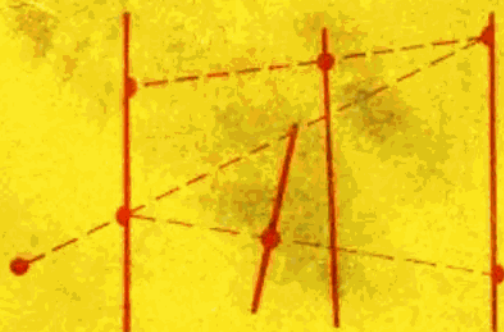


火炮装药设计算图

王泽山 刘庆荣 杨志响 著



21

国防工业出版社

前 言

装药设计是讨论火药应用的一门学科。它的理论能指导火药的合理使用并使武器具有可靠性、实用性以及合理的威力和寿命。这门学科虽然有一些内容还不够成熟,但是经过多年的实践,还是形成了一套设计原理,其中包括:选择火药的理论、装药弹道设计的理论以及装药制备和指导实验的理论。这些理论可以解决:根据什么选择火药,怎样选定火药;如何处理火药的能量、性能和使用之间的关系;火药应该是什么形状、什么尺寸、装多少和怎样装填;除火药外还应该装什么辅助元件;这些理论还能帮助我们进行装药及其辅助元件的制备并指导装药和靶场实验。直到完成装药并用于武器为止,都离不开这些原理。目前,运用这些理论进行装药设计的方法有好几种,其中有一般的设计方法、表算设计法和计算机设计法。本书提出的是图算设计法,该法和其它设计方法一样,具有自己独特的优点。这种方法容易掌握、不易出错,且简单方便。它更适合于那些复杂的、要求快出结果的设计计算工作,以及方案对比和武器的论证工作。过去,装药工作中很少用到算图。本书所论述的装药图算设计法,是作者几年来工作的总结,它只能做为图算设计用于装药工作的尝试。全书共有五部分内容,算图八十余份。除五张简易弹道算图之外,其它算图和用算图进行装药设计的设计方法都是作者的研究成果。

本书第一部分内容是解决火药选择问题。用这一部分内容,可以图解出火药的主要示性数。根据这些示性数来调整火药的组分以合理的处理能量、威力、烧蚀、寿命、储存和使用中的一些问题。

第二部分是装药设计常用公式算图,是针对那些反复使用的公式、复杂的公式和急需得到结果的公式而设计的。它们都可以单独使用,也可以和其它算图结合起来使用。这些算图虽然简单,但经常使用。

第三部分为简易弹道算图。其中有五张图引自现有的资料。这里,我们又对这几张图做了一些变化和补充。简易弹道图变量较多,包括了弹、炮、药的有关因素。因此,用于方案对比和武器的论证比较合适。简易弹道图也可以指导靶场实验。这种图的不足之处是不能给出有关火药的准确数据。

第四部分是弹道算图。它的作用与简易弹道图相似。但决定包括弹、炮、药这种综合系统的方案不如简易弹道图方便。弹道算图的特点是能给出有关火药方面的数据,也比简易弹道图准确。起到 ΓAY 表第四册的作用,可以解决一般火炮弹道设计的正面和反面问题。

第五部分内容是制式炮的装药算图。这种算图又有列线图和网络图两种。列线图使用方便,网络图制做方便。制式炮装药算图内容更具体,是用于特定火炮的。使用起来很简单。这种算图把弹道诸元和装药诸元用简单的图线联系起来。如果知道装药诸元,马上就能解出弹道诸元。反过来,知道弹道诸元也可以马上求出装药诸元。所以,这种图的图解法也就代替了一门炮的内弹道正面解法和反面解法。这种算图对火药设计和靶场实验都很

适用。因为它是用于特定火炮的，所以它有准确、解题快的优点，同时也有适用面窄的缺点。也就是说，一张图对这门炮适用，而对另一门炮就不适用。为了解决这个问题，本书设计了各种火炮的装药算图，这就在一定程度上解决了这种图的适用性问题。

在这五部分内容中，有的算图适用性好，如弹道算图、简易弹道算图和常用公式算图。它们的特点是解决的面宽，但有的不够准确。有的内容却很具体，如制式火炮的装药算图和火药能量示性数算图。它们的特点是准确、简单，但制式炮装药算图有局限性。这两种类型的算图虽有差别，综合起来却是一个整体，它们相辅相成，共同成为装药设计图解法这个整体的基础。因此，要结合起来使用本书所介绍的各部分内容。通常，在装药设计的初期，有关炮、弹、药的论证工作最好用简易弹道图。一旦炮和弹的因素确定了，这时就要用制式炮装药算图去解决装药设计中的有关问题。

当然，这五部分内容又各有侧重。每一部分都是一个独立的体系，可以单独解决装药中的一些问题。

本书没有讨论诺模图的基本原理，如果想了解这方面的内容，读者可以参考诺模图的专著^{〔1〕〔2〕〔3〕}。但是，不懂诺模图原理的装药工作者，照样可以看懂这本书的内容，并且能够使用它。

过去没有见到过介绍装药图解设计方法的完整著作，本书的图算设计法和所使用的算图是作者提出的。在装药工作中，提出一种合适的设计方法或设计出一张好的算图，要经过计算、找规律、设计绘图和实践修改这样一个反复的过程。有些图从设计到完成延续了几年的时间。在这几年中，不断修改和完善。即使这样，问题仍然不少，还有待进一步修改的必要。有的内容要增添，有的地方还可能有错误，希望得到读者的批评和指正。

目 录

说明	1
§1 常用符号说明	1
§2 算图用法说明	2
§3 与算图有关的火炮诸元	6
表 0-1 火炮诸元表	6
§4 参考资料	6
第一章 火药组分设计	7
§1 火药的爆温	8
§2 含附加成分火药的爆温	9
§3 火药的爆热	10
§4 火药燃气的绝热指数 κ	11
§5 等压爆温($T_0\kappa$)、等压火药力(f_0)和等容平均热容量(C_w)	12
§6 推进剂的比冲量 I_s	13
§7 未燃尽的碳($c\%$)	14
§8 火药气体的余容 α	14
§9 火药气体的比容 W	14
§10 火药组分的化学实验式	14
表1-1 中定剂、二苯胺、凡士林、苯二甲酸二丁酯元素摩尔原子数	16
表1-2 一些爆炸物的生成热和元素摩尔原子数	18
表1-3 一些高聚物的生成热和元素摩尔原子数	20
表1-4 一些化合物的生成热	20
表1-5 双芳-3 火药的元素摩尔原子数(图解结果)	22
第二章 装药设计常用公式及算图	23
§1 火药的燃速系数	23
表2-1 硝化棉火药内外挥发量	24
§2 点火药量 ω_s	25
表2-2 火药的爆热值 Q_w ($^{\circ}\text{C}$)	25
§3 保持膛压和初速不变的装填条件	26
§4 装填条件的变化对弹道性能的影响	27
表2-3-1 修正系数 m_w 、 m_l 值	28
表2-3-2 修正系数 m_q 、 m_{w_0} 值	28
表2-3-3 修正系数 l_{w_0} 值	29
表2-4 修正系数 m_r 、 l_r	29
§5 平均最大膛压与铜柱测压值的换算	30
§6 管状火药极限长度 L	31

表2-5 火药力、燃速系数值	31
第三章 简易弹道算图	32
第四章 弹道设计	35
§1 弹道设计	35
表4-1 威力系数 C_E	36
§2 计算步骤	36
§3 例题	37
第五章 制式火炮装药的弹道设计	44
§1 制式火炮装药设计列线图	44
一、装药列线图的结构	44
二、装药列线图的应用	46
三、作图方法介绍	49
表5-1 作37毫米高炮装药列线图的数据 ($f=100 \times 10^4$ 公斤·分米/公斤)	50
表5-2 作列线图所用数据的计算程序	50
表5-3 $2e_1-I_k-2u_1$ 的数值关系	52
四、装药列线图的有关说明	52
表5-4 求符合系数 K 所用的弹道条件	54
五、各种制式火炮的装药列线图	54
§2 装药网络图	55
一、作图原理	55
二、网络图的制法	55
表5-5 37毫米高炮 $\Delta-P_m-I_k$ 值	58
表5-6 37毫米高炮 $\Delta-V_0-I_k$ 值	58
表5-7 37毫米高炮 $\Delta-\eta_k-I_k$ 值	59
§3 计算例题	59
§4 网络图的有关说明	60
图A-1 爆温算图 ($B_1=1.15 \sim 1.45$)	62
图A-2 爆温算图 ($B_1=1.45 \sim 1.75$)	63
图A-3 爆温算图 ($B_1=1.75 \sim 2.10$)	64
图A-4 爆温算图 ($B_1=2.10 \sim 2.50$)	65
图A-5 含附加成分火药的爆温算图	66
图A-6 火药爆热算图	67
图A-7 绝热指数 κ 算图	68
图A-8 等压爆温、等压火药力和平均热容算图	69
图A-9 比冲量算图	70
图A-10 未燃尽碳量算图	71
图A-11 火药气体余容算图	72
图A-12 火药气体比容算图	73
图A-13 硝化棉元素摩尔原子数算图	74
图A-14 硝化二乙二醇、硝化甘油-吉纳元素摩尔原子数算图	75

图 A-15 硝化二乙二醇、硝化甘油-黑索今、奥克托今元素摩尔原子数算图	76
图 A-16 硝化二乙二醇、硝化甘油-二硝基甲苯元素摩尔原子数算图	77
图 A-17 硝化二乙二醇、硝化甘油-硝基胍元素摩尔原子数算图	78
图 A-18 硝化二乙二醇、硝化甘油-硝化三乙二醇元素摩尔原子数算图	79
图 A-19 硝化二乙二醇、硝化甘油-二甲基乙烯二硝酸胺元素摩尔原子数算图	80
图 A-20 硝化二乙二醇、硝化甘油-硝基叔丁醇三硝酸酯元素摩尔原子数算图	81
图 B-1 硝化棉火药 u_1 算图	82
图 B-2 硝化甘油火药 u_1 算图	83
图 B-3 点火药量算图	84
图 B-4 保持膛压、初速不变的装填条件算图(1)	85
图 B-5 保持膛压、初速不变的装填条件算图(2)	86
图 B-6 装填条件影响 P_m 的算图	87
图 B-7 装填条件影响 V_0 的算图	87
图 B-8 修正系数 l_0 算图	88
图 B-9 修正系数 l_1 算图	88
图 B-10 修正系数 l_2 算图	88
图 B-11 速度-温度修正算图	89
图 B-12 压力-温度修正算图	90
图 B-13 平均最大膛压与铜柱测压值的换算算图	91
图 B-14 管状火药极限长度算图	92
图 C-1 筒易弹道算图	93
图 C-2 弹道参量 r 算图	94
图 C-3 膨胀比算图	94
图 C-4 $e^{-r}-X$ 算图	95
图 C-5 最大压力 P_m 算图	96
图 C-6 λ_m 算图	96
图 C-7 u_m 算图	97
图 C-8 初速 V_0 算图	97
图 D-1 威力系数 C_E 算图	98
图 D-2 系数 η_0 算图	99
图 D-3 $P_{m\Delta}-\Delta-B-V_0$ 算图 ($\Delta=0.40\sim0.90$)	100
图 D-4 $P_{m\Delta}-\Delta-B-V_0$ 算图 ($\Delta=0.20\sim0.40$)	101
图 D-5 $P_{m\Delta}-\Delta-B-V_0$ 算图 ($\Delta=0.10\sim0.20$)	102
图 D-6 $\lambda_k-\Delta-P_m$ 算图 ($\Delta=0.40\sim0.90$)	103
图 D-7 $\lambda_k-\Delta-P_m$ 算图 ($\Delta=0.10\sim0.40$)	104
图 E-01 61式海双25毫米火炮装药列线图	105
图 E-02 双25毫米火炮装药列线图	106

图 E-03	55 式 37、65 式双 37 毫米高炮装药列线图	107
图 E-04	海双 57 毫米火炮装药列线图	108
图 E-05	59 式 57 毫米高炮装药列线图	109
图 E-06	85 毫米高炮装药列线图	110
图 E-07	39 式 85 毫米高炮装药列线图	111
图 E-08	56 式 85 毫米加农炮装药列线图	112
图 E-09	59 式 100 毫米高炮、59 式 100 毫米加农炮、海双 100 毫米高炮装药列线图	113
图 E-10	C-100 毫米高炮装药列线图	114
图 E-11-1	海双 100 毫米火炮装药列线图 ($f=105 \times 10^4$)	115
图 E-11-2	海双 100 毫米火炮装药列线图 ($f=83.5 \times 10^4$)	116
图 E-12	60 式 122 毫米加农炮装药列线图	117
图 E-13	59 式 130 毫米加农炮装药列线图	118
图 E-14	55 式 57 毫米防坦克炮装药列线图	119
图 E-15	44 式 100 毫米加农炮装药列线图	120
图 E-16	85 毫米防坦克炮装药列线图	121
图 E-17	31 式 122 毫米加农炮装药列线图	122
图 E-18	59 式 152 毫米加农炮装药列线图	123
图 E-19	66 式 152 毫米加榴炮装药列线图	124
图 E-20	37 式 152 毫米加榴炮装药列线图	125
图 E-21	66 式 122 毫米榴弹炮装药列线图	126
图 E-22	54 式 122 毫米榴弹炮装药列线图	127
图 E-23	56 式 152 毫米榴弹炮装药列线图	128
图 E-24-1	海双 130 毫米-1 火炮装药列线图	129
图 E-24-2	海双 130 毫米-2 火炮装药列线图	130
图 E-25	D-152 毫米火炮装药列线图	131
图 F-F	37 毫米高炮装药网络图	132
图 F-G	37 毫米高炮装药网络图简图	133

说 明

§ 1 常用符号说明

$C_aH_bO_cN_d$ 火药成分的化学实验式。C、H、O、N分别为碳、氢、氧、氮元素。 a 、 b 、 c 、 d 分别为一公斤火药的碳、氢、氧、氮的摩尔原子数。

B_1 碳氢比。一公斤火药中碳、氢元素摩尔原子数的比值。 $B_1 = \frac{b}{a}$ 。

C_1 碳氧比。一公斤火药中碳、氧元素摩尔原子数的比值。 $C_1 = \frac{c}{a}$ 。

T_1K 火药燃气的等容火焰温度。

T_0K 火药燃气的等压火焰温度。

f 等容火药力，公斤·分米/公斤。

f_0 等压火药力，公斤·分米/公斤。

$Q_w(\text{水})$ 水为液态的火药爆热，千卡/公斤。

I_r 推进剂的比冲量，秒。

α 火药气体的余容，分米³/公斤。

$c\%$ 未燃尽碳的百分含量。

κ 火药燃气绝热指数。

θ $\theta = \kappa - 1$ 。

C_w 火药气体等容热容量，卡/公斤·度。

S 火药的公斤生成热，千卡/公斤。

H 火药气体的比容，升/公斤。

n 火药燃气的摩尔分子数，摩尔分子/公斤。

u_1 火药燃速公式 $u = u_1 P$ 中的燃速系数，(10⁻⁶分米/秒/公斤/分米²)。

ω 火药重量，公斤。

δ 火药密度，克/厘米³。

$2e_1$ 火药弧厚，(0.1×毫米)。

Δ 装药密度，公斤/分米³。

ω_0 点火药重量，公斤。

L 管状火药的极限长度，毫米。

χ 、 λ 火药形状特征量。

I'_k 、 I''_k 、 I_k 分别为薄火药、厚火药和全装药的压力全冲量，公斤·秒/分米²。

B 弹道参量。

ω' 、 ω'' 、 ω 分别为薄火药、厚火药和全装药的装药量，公斤。

P_g 炮口压力，公斤/厘米²。

P'_m 铜柱测定的膛内最大压力，公斤/厘米²。

P_m 膛内平均最大压力，公斤/厘米²。

$P_{m表}$ ΓAY 表中的表压值，公斤/厘米²。

P_0 挤进压力，公斤/厘米²。

V_0 火炮的初速，米/秒。

$V_{0表}$ ΓAY 表中的表速值，米/秒。

q 弹重，公斤。

m 弹丸质量。

φ 次要功计算系数。

K_1 与武器有关的系数。 $\varphi = K_1 + \frac{\omega}{3q}$ 。

e 弹道效率。

z 示压效率。

X 膨胀比。

r 弹道参量， $r = \frac{B}{\theta}$ 。

y 压力比， P_g/P_{m0} 。

λ_k 燃烧结束点的身管长度，分米。

η_k 燃尽系数。

η_ω 装药利用系数。

C_E 威力系数。

l_g 火炮炮管长度，分米。

s_0 火炮膛断面面积，分米²。

λ_g 火炮身管相对长度。

d 火炮口径，分米。

W_0 药室容积，分米³。

l_0 药室缩径长。

m_t 、 m_q 、 m_f 、 m_ω 、 m_{W0} 分别为温度、弹重、火药力、药重和药室容积等变化量对最大压力影响的修正系数。

l_t 、 l_q 、 l_f 、 l_ω 、 l_{W0} 分别为温度、弹重、火药力、药重和药室容积等变化量对初速影响的修正系数。

§ 2 算图用法说明

这里的算图有列线图、网络图及复合形式的算图。没接触过算图的读者，总觉得它和一般的坐标图不同，往往不知道由何处入手，常常希望对每一份算图都做一个详尽的说明。

实际上这是没有必要的。因为每分图上都已经有了说明，看起来这个说明很简单，但是它很实用。一般的技术工作者只要按照这个“说明”去做，试验几次就可以掌握用图的规律。在介绍本书的主要内容之前，先结合图 A_0-A 介绍一下一般算图的使用方法。这个图例是 $A-7$ 算图的简图。

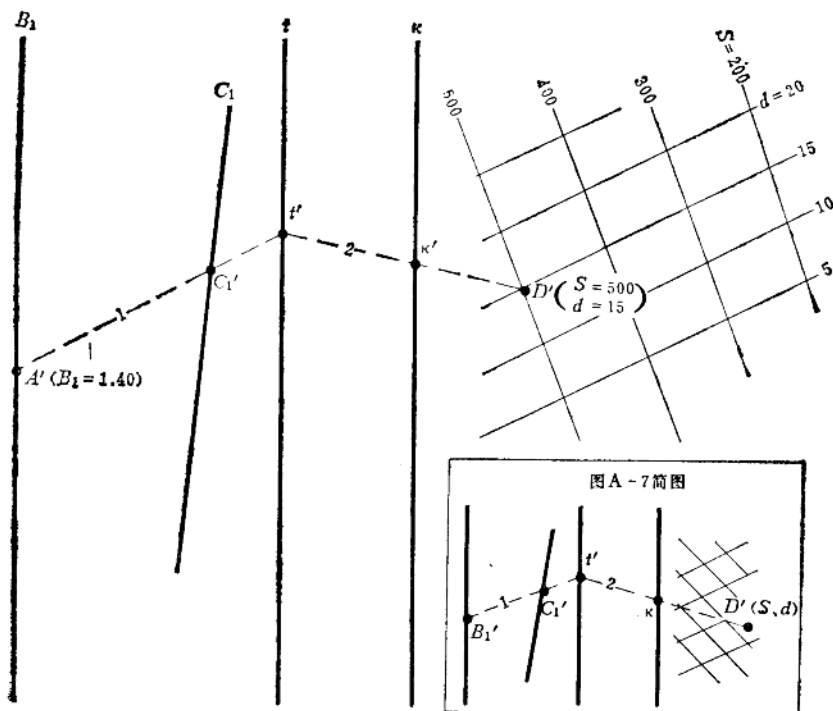


图 A_0-A 图 $A-7$ 的简图

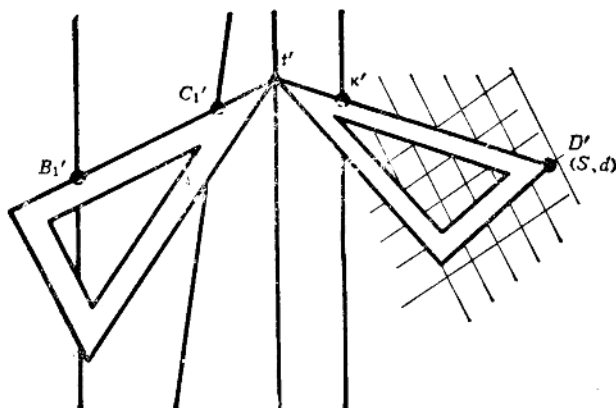
1. 用算图解题要有直尺和铅笔。操作时，把直尺按照图给的次序移动，称这把尺为操作尺。

2. 算图上有几条带刻度的线，如 B_1 、 C_1 、 κ 这几条线，统称为尺度线。每条尺度线都表示一个变量，它的名称和单位常常标在该线的上方或一侧。尺度线上，有标明数值大小的分度点。图 A_0-A 上的点 B_1' 就表示变量 B_1 的数值为 1.40。图 A_0-A 的右方是一个网络，实际上是两个线族，它们分别代表变量 S 和 d 。如：点 D' 的 d 、 S 数值就是 15 和 500，这种尺度线（或网络线）是组成算图的基本成分。

3. 图 A_0-A 上还有一条线 t 。这条线可看成算图的辅助成分。我们称 t 线为过渡尺。过渡尺一般不注明数值，只指出操作尺的移动方式。它在图解时起到“桥梁”作用。例如，由 B_1' 点去找 κ' 点，必须按照 $B_1'-C_1'-t'-D'$ 的次序去找。实际上 t 线本身也是个函数尺，但它给出的数值只是解题的中间结果，所以就没有必要标出它的数值。有时过渡尺和函数尺共线，这种尺既是过渡尺也是函数尺。

4. 每份算图都有一个说明，它指出了算图的名称、算图的公式和用图的方法。图例 A_0-A 的右下角有个简图，它就是说明部分。这个说明指出图 A_0-A 是绝热指数 κ 的算图。

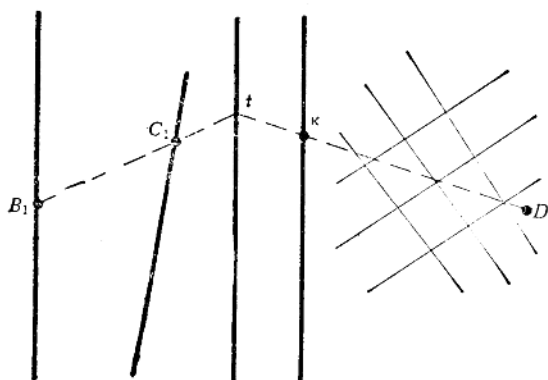
“说明”还指出了操作尺的用法。如果想求 κ 值,就先将 B_1' 、 C_1' 、 D' 点找好,接着移动操作尺,把操作尺放在 B_1' 、 C_1' 两点决定的直线上,由操作尺给出在 t 尺度线上的交点 t' 。接着把操作尺移到 t' 与 D' 两点决定的直线上,操作尺与 κ 线相交,交点就是所求答数 κ' 。我们再将这个“说明”部分用图A₀-B形象地表示出来。



图A₀-B 算图说明图(1)

有的“说明”不标明操作尺的移动次序,只给出连线的方向。这种“说明”如图A₀-C所示。

这就是说,在 B_1t 、 tD 这两条线中,哪条先连那条后连是无关紧要的,但必须是 B_1 、 t 成线; t 、 D 成线,而不能是其它点成线。如果想求 κ 值,就先连 B_1t ,后连 tD 。如果要求 B_1 ,就必须先连 $D\kappa$ 找出 t ,然后再连 tC_1 ,这样才能得到答案 B_1 。在实际课题中, B_1 、 C_1 、 κ 、 d 、 S 这几个量中的每个量都可能是已知量,也可能是未知量。在这些不同的情况下,连线的次序是不同的。所以,对这种算图不注明连线的先后次序就更加合理。

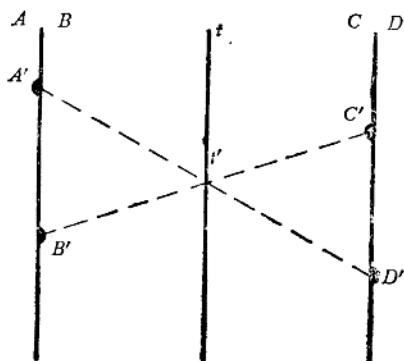


图A₀-C 算图说明图(2)

有的算图标明了连线的先后次序,因为这个图所有的未知量是固定的。图A-7就属于这个类型。这里我们只想用它求参量 κ ,所以连线的次序也是固定的,同时图上也给出了连线的步骤。这样做容易使读者看清楚。有时也还会用到另外一种“说明”。按道理,一条尺度线应该代表一个变量,但有的时候却同时代表二个或更多的变量,这是把几个变量的尺度线集中到一条线上的结果。为了弄清楚这种算图的连线次序,请看图A₀-D的说明。

这个图告诉我们,要 C' 、 B' 相连; A' 、 D' 相连。黑点 D' 标在 D 、 C 共线尺的右侧,它表示 D' 是 D 尺上的某个数值。而黑点 A' 标在 A 、 B 共线尺的左侧,它表示 A' 是

A 尺上的某一数值。按图所示，必须是 A 尺上的点与 D 尺上的点相连。 C 尺上的点与 B 尺



图A₀-D 算图说明图 (3)

上的点相连。有的算图不用简图式的“说明”，而直接在原图上划上了用图的次序线。它的好处是省略了说明图，但也容易使主图变乱。这种方式常常用于不太复杂的算图上。

还有一种直接用变量的“说明”。如果把 A_0-A 简图采用这种说明，就表示为 $B_1-C_1-t-\kappa-(d, S)$ 。实际上，这就是给出了各量的连结次序。它的功能与说明图完全一致。



图A₀-E 操作尺使用法

上述几种形式的“说明”在使用本书时都可能碰到。一旦了解了它们的意义，就可发现算图的“说明”是非常简炼的。该说明的东西都讲到了。不然，要用大量的文字去说明，还容易搞乱思想而得不到用图的要领。

掌握了用图的程序之后，还要注意用图的技巧。技巧掌握得好，不但操作快，结果的精度也高。

首先要用好操作尺。如果想把操作尺放在 A 、 B 两点上，这个操作可参照图 A_0-E 进行。

A 和 B 是放大的两个点。摆尺时，最好先把笔尖放在 A 、 B 两点中 B 点上，再把操作尺抵住笔尖，以 B 点为固定点摆动操作尺，使尺的另一端落在 A 点上。这样操作比较方便，但要注意执笔的角度，要保证各点恰好落在线上。

除了用好操作尺，还要掌握好读数的技巧。尺度线上的分度值都是按一定规律选注的，我们要用的点很可能没有标明数值，这就要做好正确的估值。有些尺度线是非等分的，如数对数尺就是非等分的一种尺度线，更要用心估值。

用图时，尽量不要在图上划线，避免戳伤图纸，影响精度。

要注意操作，但不必苛求。设计算图时已经考虑了可能的偏差，特别考虑了快速操作可能带来的偏差。只要不是粗心，图解结果都能达到设计要求。过份谨慎只能耗费精力和时间，甚至失去图解法的优越性。

上面阐述了用图的一般注意事项。有些算图，特别是装药算图，所涉及的面很宽，它能解决的问题也很多。只要涉及弹道诸元、装药诸元以及它们之间关系的一些问题，都可以用装药算图去试试。这种算图的应用不应局限于例题所给定的范围。

使用装药算图还要熟悉数值的修正方法。制式火炮装药算图是针对特定火炮设计的。当弹、炮、药的条件有了一些变化之后，只要掌握用图的修正方法，原图就仍然有效。有时弹道实验的数据和图解的数据会有些差别，这是正常的现象。即使是同一门火炮的各次实验，其结果也会有差别的。这种问题，即火炮、弹的微小变化以及图解结果和实验结果之间的差别，都可以通过图解的修正方法去解决。因此，使用装药算图，就要熟悉用图的修

正法。这部分内容将在有关的章节中介绍。

本书例题中常遇到一些数据,有些数据没注明单位,这时该值的单位与符号说明中所规定的单位相同。

§ 3 与算图有关的火炮诸元

表0-1 火炮诸元表⁽⁴⁾

火 炮	W_0 (分米 ³)	s_0 (分米 ²)	l_g (分米)	q (公斤)	图 号
61式海双25毫米火炮	0.125	0.05	17.75	0.282	E-01
双25毫米火炮	0.135	0.05	18.85	0.25	E-02
55式37毫米高炮65式双37毫米高炮	0.263	0.111	20.99	0.732	E-03
海双57毫米火炮	1.686	0.266	36.78	3.13	E-04
59式57毫米高炮	1.51	0.266	36.24	2.80	E-05
85毫米高炮	5.441	0.589	49.65	9.3	E-06
39式85毫米高炮	3.80	0.583	35.88	9.2	E-07
56式85毫米加农炮	3.940	0.582	35.92	9.54	E-08
59式100毫米高炮	7.985	0.818	47.43	15.6	E-09
59式100毫米加农炮	7.985	0.818	47.43	15.6	E-09
海100毫米高炮	7.985	0.818	47.43	15.6	E-09
C-100毫米高炮	7.985	0.818	50.23	15.6	E-10
海双100毫米高炮 ($f = 105 \times 10^4$)	10.5	0.818	58.83	15.6	E-11-1
海双100毫米高炮 ($f = 83.5 \times 10^4$)	10.5	0.818	58.83	15.6	E-11-2
60式122毫米加农炮	14.03	1.212	49.10	27.30	E-12
59式130毫米加农炮	18.580	1.394	59.52	33.40	E-13
55式57毫米防坦克炮	2.042	0.265	35.07	3.14	E-14
44式100毫米加农炮	7.90	0.818	47.38	15.60	E-15
85毫米防坦克炮	8.040	0.589	49.50	9.30	E-16
31式122毫米加农炮	9.898	1.188	47.55	25.00	E-17
59式152毫米加农炮	17.27	1.876	55.77	43.56	E-18
66式152毫米加榴炮	12.505	1.852	35.90	43.56	E-19
37式152毫米加榴炮	12.078	1.852	34.67	43.56	E-20
66式122毫米榴弹炮	7.248	1.193	30.68	25.0	E-21
54式122毫米榴弹炮	3.77	1.188	23.84	21.76	E-22
56式152毫米榴弹炮	5.707	1.852	32.20	40.0	E-23
海双130毫米火炮-1	19.6	1.38	60.22	33.4	E-24-1
海双130毫米火炮-2	19.6	1.38	60.22	32.67	E-24-2
D-152	31.7	1.903	75.10	53.62	E-25

§ 4 参 考 资 料

- [1] A. S. Levens, "Nomography". 2ND edition. John Wiley and Sons, Inc. New York. 1959.
- [2] 罗河: "图算原理", 上海科技出版社, 1961. 1.
- [3] 杨祖裕: "诸模图绘制原理和方法", 人民铁道工业出版社, 1963年.
- [4] "火炮综合诸元手册", 华东工程学院, 101教研室编, 1976. 11.
- [5] 王泽山: "发射药能量显示性数算表", 国防工业出版社, 1978. 12.
- [6] ARSJ. Vol. 30, No. 5, 489~491 (1960).
- [7] Encyclopedia of explosives and related items, Vol. 2, C33~38.
- [8] 古素宁: "火药装药设计", 华东工程学院, 1972.
- [9] Mayer, J. E., Hart, B. I., "Simplified Equations of Interior Ballistics", Journal of the Franklin Institute, Vol. 240, No. 5 (1945), 401~411.
- [10] AD 259019.
- [11] "内弹道学", 华东工程学院, 103教研室编, 国防工业出版社, 1978. 1.
- [12] "炮用发射药与装药弹道实验条件", 内部资料, 1966.
- [13] "兵器与技术", 通卷第 230号, P-14, 1966. 7.

第一章 火药组分设计

装药设计的首要任务之一是选择火药。所选择的火药必须达到武器要求的能量及其它性能指标,这样才能保证武器的初速、射程和正常的使用特性。

武器对火药的要求虽有差别,但每种武器都要求火药具有足够的能量;具有适当的燃烧性能、力学性能和可靠的安定性,还要避免射击中的有害现象。火药的这些性能是有联系的、相互制约的。往往在强调某一个特性的时候,就会损坏另一些性能。这就要求设计者能根据武器的特点,突出它的关键因素,以满足武器的战术技术要求。如果处理得好,就能从装药设计的角度提高武器的综合性能,或者使武器的某些性能具有独到之处。只有这样,装药设计才算是成功的。能做到这一点,必须经过一个设计、实验的反复过程。而理论的预测和推算则可以简化这个过程。目前,设计者已经有了较好的经验,能够通过火药能量示性数的设计,帮助解决预测火药和调整火药的性能。因此,这种设计计算工作,已成为火药设计和装药设计的重要组成部分。这方面的内容,也就成为火药设计资料中不可缺少的内容。

本书提出的求火药能量示性数的图解方法,经过试用,证明它是一种既方便又有足够精度的计算方法,可以用于装药设计中能量示性数的设计和计算。这个方法简化了原有计算方法的程序,也易于掌握,便于检查,以及减少设计中出错的机会。因此,在装药设计计算中,使用这种方法是适合的。

用这套算图可以求出发射药的等容火焰温度(T_1K)、等容火药力(f)、水为液态的火药爆热($Q_{w(k)}$)、余容(α)、未燃尽的碳($c\%$)、火药燃气的绝热指数(κ)和推进剂的比冲量(I_s);还可以求出等压火药力(f_0)和等容热容量(C_w)。

这套算图,对碳、氢、氧、氮系火药适用,对那些含有非碳、氢、氧、氮元素的火药也适用。再加上所选取的变量范围比较宽,所以,这个图解法可以用于现有的火药和科研中将要遇到的火药。

制做这套算图所用的数值,是用内能法算出来的。资料^[5]所做的规定,是处理计算中有关问题的依据。

使用这个图解法,要知道火药组分的化学实验式和火药的生成热(S)。算图中,有时要用到相对变量,如:碳氢比 $B_1(B_1 = b/a)$ 和碳氧比 $C_1(C_1 = c/a)$ 。用图解法求示性数必须首先把 B_1 、 C_1 求出来。

生成热(S),还是按照火药计算的习惯,如果在化学反应中生成某物质时放出了热量,则定该物质的生成热为正,反之,定该物质的生成热为负。

这一章的后半部分讨论了火药组分的化学实验式。这里有八张算图。这一部分内容是为示性数的计算做准备的。

本章结尾,还附有四个数表,表1-1、1-2、1-3和1-4。表上是火药常用组分C、H、O、N的含量以及它们的 B_1 、 C_1 和 S 值。这些数表用来确定各火药配方的化学实验式。

利用这几个算图计算火焰温度、火药力、比冲量、爆热和绝热指数可能产生的最大误差是:

$$|\Delta T_1 K| \leq 35 K;$$

$$|\Delta f| \leq 1 \times 10^4 \text{ 公斤} \cdot \text{分米} / \text{公斤};$$

$$|\Delta I| \leq 1.5 \text{ 秒};$$

$$|\Delta Q_{w(*)}| \leq 8 \text{ 千卡} / \text{公斤};$$

$$|\Delta \kappa| \leq 0.002.$$

§ 1 火药的爆温

爆温是表征火药的重要性质——能量和烧蚀性的示性数。严格的讲，火药所有的能量示性数都是爆温的函数。有些示性数，必须在爆温已知的前提下才能求出来。爆温在火药设计和装药设计中，从来都是一个关键性的示性数。所以，确定火药的爆温并且求准它，就显得非常重要。

然而，计算爆温却是一个很麻烦的工作，虽然还有一些简化公式，但这些公式都有局限性。还很难找到一个简单、准确而又普遍适用的公式。经过试用证明，现在设计的爆温算图，是一个求解爆温的很好的工具。用它求爆温，既简单、迅速，又有足够的数值精度；既对碳、氢、氧、氮系火药适用，又对含有其它附加元素的火药适用。

爆温算图 A-1、A-2、A-3、A-4 共四张（见 62~65 页）。这四张图是根据数值的精度要求，按 B_1 的不同范围分别设计的。

火药的配方确定后，再根据火药的 B_1 值来决定该用哪张图。用同一张图还能求出该火药的火药力。

爆温图上另外几个量，即氮量 (d)、碳氢比 (C_1) 和生成热 (S)，所选取的范围是：

$$d \quad 6 \sim 24$$

$$S \quad 200 \sim 800$$

$$C_1 \quad 1.0 \sim 2.7$$

对现有的火药和可能研究到的火药， d 、 S 和 C_1 的值都不会超过这个范围。加上图 A-5 又能解决含有其它附加元素的火药的爆温，所以这套算图就具有很好的通用性。

爆温算图是个复合算图，它表明了五个量之间的函数关系。这五个量就是：爆温 ($T_1 K$)、含氮量 (d)、碳氢比 (B_1)、碳氧比 (C_1) 和火药的生成热 (S)。知道了其中任何四个量，都可以求出另外一个量。但它的主要用途是用于求爆温。

如果以爆温线 ($T_1 K$ 线) 为中心线，可以看出：图的左侧是一个网络，任何一组 C_1 、 S 值都和网络中的唯一一点相对应。图的右侧也有一个线图，它表明 d 、 B_1 与 $T_1 K$ 的关系。任何一对 d 、 B_1 值都和过渡尺 (t) 上的唯一一点相对应。也就是说，当火药确定后，在图的左侧网络和图右侧的过渡尺上都各有一个确定的点，这两点连线与 $T_1 K$ 线交点的数值，就是该火药的爆温。接着用 $T_1 K$ 尺， n 尺和 f 尺，又可以求出该火药的火药力。

例题 I-1 计算双芳-3 火药的爆温和火药力。已知火药的化学实验式为 $C_{24.9}H_{32.6}O_{35.8}$

$N_{0.5}$ 火药的生成热 $S = 499$ 千卡/公斤。

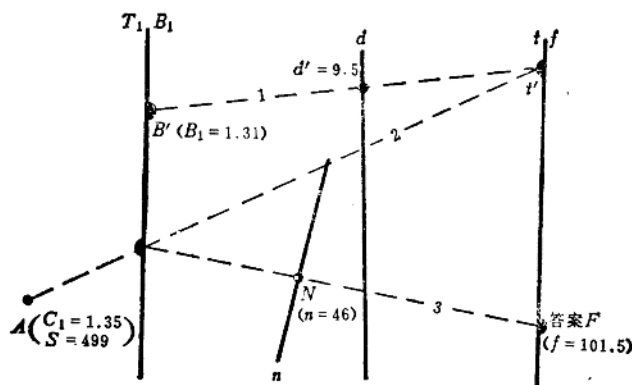
解 求碳氧比 (C_1) 和碳氢比 (B_1)。

$$B_1 = \frac{b}{a} = \frac{32.6}{24.9} = 1.31,$$

$$C_1 = \frac{c}{a} = \frac{33.5}{24.9} = 1.35。$$

根据 $B_1 = 1.31$, 应该选择算图 A-1 计算爆温, 因为该火药的 B_1 值处于图 A-1 的 B_1 值范围内。参照图 A-A 解题。由 $d = 9.5$ 、 $B_1 = 1.31$, 在过渡尺 t 上得到点 t' 。由 $S = 499$ 、 $C_1 = 1.35$ 在左侧网络中确定点 A , 连接 A 、 t' 两点并与爆温线相交, 其交点为 T'_1 。 T'_1 点的数值 2600 K, 这就是所求的爆温 (理论计算值为 2589 K)。

双芳-3 火药的气体摩尔分子数 $n = 46.0$, 于是, 又可以查出该火药的火药力。首先在 n 线上取点 N , N 点数值 $n = 46.0$, 连结 T'_1 、 N , 它的延长线与 f 线相交于 F 点, F 点的数值 $f = 101.5 (10^4 \text{ 公斤} \cdot \text{分米} / \text{公斤})$, 即是所求的火药力 (理论值为 100.8)。



图A-A 图A-1的简图

§ 2 含附加成分火药的爆温

火药中常常加入一些附加成分。如: 金属粉、金属化合物、非碳、氢、氧、氮元素及其化合物。在火药配方中, 虽然只增加一、二种元素, 但示性数的计算却要复杂得多。简化计算法很难处理这种计算。设计者遇到了这类问题, 有时为了简化计算, 手边又缺少热力学数据, 故常常忽略这些附加物。尽管这种处理在某些情况下是可行的, 但有些时候这个影响还是不可低估的。更重要的是难以估计示性数的真实性, 对那些示性数数值相近的不同火药, 难以做出确切的比较。

图 A-5 (见 66 页) 是专为计算有附加元素 (指 C、H、O、N 之外的元素) 的火药而设计的。有了算图 A-5 就扩大了爆温算图的适用范围。

图 A-5 考虑了火药可能用到的元素、化合物以及它们的相态。燃烧瞬间处于液态的物质用该物质的晶态的数据。

用算图 A-5 的计算步骤:

1. 假设非C、H、O、N元素燃烧后形成稳定的化合物(MO)，如金属化合物、氯化物、氟化物、硫化物……。这时可以把火药的化学实验式改写为 $C_xH_yO_zN_n(MO)_m$ 。将这个实验式分成两个部分：A部分为 $C_xH_yO_zN_n$ ；B部分为 $(MO)_m$ 。

2. 将A部分的重量增加至一公斤，用图A-1~A-4求出爆温 T_1K ，这个爆温在图A-5上仍然用 T_1K 表示。

3. 用图A-5求出含附加成分火药的爆温 T'_1K 。

例题 I-2 求含铝火药的爆温。已知火药的化学实验式： $C_{24.4}H_{31.9}O_{32.8}N_{9.3}Al_{0.4}$ ；火药的生成热 $S = 488.8$ 千卡/公斤。

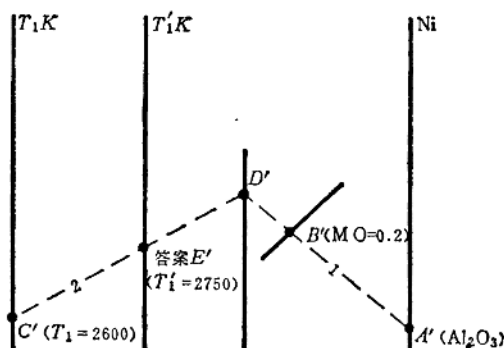
解 (参照图A-B)：

1. 火药燃烧后生成稳定的金属化合物三氧化二铝(晶体 Al_2O_3)。火药的化学实验式改写为 $C_{24.4}H_{31.9}O_{32.8}N_{9.3}(Al_2O_3)_{0.2}$ ，其中A部分为 $(C_{24.4}H_{31.9}O_{32.8}N_{9.3})$ ，它的重量占火药重量的97.96%。

2. 将A部分的重量增至一公斤，A部分变为 $(C_{24.8}H_{32.6}O_{33.5}N_{9.5})$ ，生成热 $S = 499$ 千卡/公斤。

3. 由图A-1查出A部分(一公斤)的爆温 $T_1K = 2600K$ (见例题 I-1)。

4. 本题的MO是 Al_2O_3 ，MO=0.2摩尔分子， $T_1K = 2600K$ ，在图A-5上分别取Ni、MO、 T_1K 这三条线上的三个点 A' 、 B' 和 C' 。连结 A' 、 B' 后与 t' 线相交于 D' 。连结 D' 、 C' 并与 T_1K 线相交于 E' ，则 E' 点所示的数值 $T'_1 = 2750K$ ，即为所求的含铝火药的爆温。



图A-B 图A-5的简图

§3 火药的爆热

火药爆热是代表火药能量的一项指标。爆热大，火药的能量和烧蚀性也大。爆热可以代替火药力和爆温来度量火药的做功能力和火药的烧蚀性。虽然不如火药力和爆温确切，但爆热可以直接测量，测量结果也比较准确。所以在过去的火药设计中，就以“爆热”做为选择火药的重要依据。例如：对迫击炮装药， $Q_{w(火)}$ 不低于1100千卡/公斤；大威力火炮装药 $Q_{w(火)}$ 不超过800千卡/公斤；对于步兵武器装药 $Q_{w(火)}$ 介于800至1000千卡/公斤之间。但是，装药中的这些规定毕竟是已往的经验数值，目前，它们仅有参考价值。

爆热算图A-6(见67页)使用方便。除火药设计、装药设计之外，爆热测试者也可以应用。

图A-6的用途，是在 B_1 、 C_1 、 d 、 S 已知的情况下，用它求爆热 $Q_{w(火)}$ 。图上所给的爆热，是火药生成热为500千卡/公斤的爆热，这个量用 $Q_{w(火), S=500}$ 表示。求出 $Q_{w(火), S=500}$ 后，用下面公式求火药的真实爆热：

$$Q_{w(火)} = Q_{w(火), S=500} + (500 - S)。$$

例题 I-3 计算双芳-3火药的爆热。已知 $B_1 = 1.31$ ； $C_1 = 1.35$ ； $d = 9.5$ ； $S = 499$