

双模块装药弹道设计^{*}

张洪林^{1,2}, 刘宝民², 焦宗平³

(1. 南京理工大学 化工学院, 南京 210094; 2. 辽宁庆阳特种化工有限公司, 辽宁 辽阳 111002;
3. 总装备部驻三七五厂军事代表室, 辽宁 辽阳 111002)

摘要: 为了研究双模块装药的弹道设计方法, 采用内外弹道综合技术对双模块装药弹道设计进行了研究, 分析了双模块装药的弹道特性, 通过双模块装药中 A、B 模块装药的特征点和结合点计算, 提出了双模块装药弹道设计方法和解决双模块装药射程重叠量的途径。

关键词: 模块装药; 弹道; 设计

中图分类号: T1012

文献标识码: A

文章编号: 1006 - 0707(2009)07 - 0045 - 03

模块装药是指由可燃容器、发射药、点传火系统及装药附件等制成完全相同的单元模块, 并按射程需要, 用单元模块组合成不同装药号的发射装药。模块装药技术是为提高大口径火炮快速反应能力、实现自动装填、提高弹道性能的新型发射装药技术。

对于常规发射药, 全等式模块装药系统无法同时满足最小号装药和最大号装药的弹道要求, 为了解决这一矛盾, 设计了一种双模块装药系统^[1]。双模块装药系统是由两种全等式单元模块装药组成, 一种模块装药用于小射程的 1~2 号装药, 另一种模块装药用于大射程的 3~6 号装药^[1-2]。根据双模块装药的特点, 本文中对双模块装药弹道设计方法进行了讨论, 提出满足全射程要求的双模块装药弹道设计方法。

1 模块装药内弹道特性分析

在常规发射药技术条件下, 对于大射程覆盖的火炮, 全等式模块装药无法同时满足最小号装药和最大号装药的弹道要求, 当满足了最大号装药弹道要求时, 最小号装药往往火药不能燃尽, 膛压偏低而不能解除引信保险, 严重时产生弹药“留膛”现象^[3]。

双模块装药系统由 A、B 两种单元模块组成, A 单元模块中装填燃烧层尺寸较小的火药, 用于小号装药, 以保证小号装药火药的燃尽性, B 单元模块中装填燃烧层尺寸较大的火药, 用于大号装药, 以保证大号装药膛压不超过指标要求。

双模块装药系统一般采用 6 个模块, 其组成为: 1 号装药使用一个 A 单元模块, 2 号装药使用二个 A 单元模块, 3

号装药使用 3 个 B 单元模块, 4 号至 6 号装药依次使用 4 个至 6 个 B 单元模块^[4]。

双模块装药要满足全射程的要求, 必须使由一个 A 模块组成的 1 号装药满足最小射程要求, 由 6 个 B 模块组成的 6 号装药满足最大射程要求, 且 A、B 模块装药之间满足射程重叠量要求。

因此, 双模块装药内弹道设计不能采用单一装药内弹道设计方法, 也不能采用混合装药的设计方法, 需运用单元装药内弹道技术和装药外弹道技术的系统综合技术。

2 双模块装药弹道设计

双模块装药系统由两种分别全等的单元模块装药完成最大射程和最小射程的全弹道覆盖。

双模块装药内弹道计算模型采用考虑可燃容器因素的经典内弹道计算模型^[5]:

$$Z = Z_1 + Z_2 \quad (1)$$

$$\frac{dZ}{dt} = \frac{p}{\rho_1} \quad (2)$$

$$Sp = m \frac{dV}{dt} \quad (3)$$

$$Sp(l + l_1) = f - \frac{1}{2} mV^2 \quad (4)$$

$$= \frac{f_1}{f_2} \rho_1 l_1 + \rho_2 l_2 = c_1 \rho_1 l_1 + c_2 \rho_2 l_2 \quad (5)$$

双模块装药外弹道计算采用考虑底排作用的常规外弹道计算模型^[6]:

$$\frac{dV}{dt} = - \frac{V^2}{2m} S_{ref} C_D - g \sin \theta \quad (6)$$

* 收稿日期: 2009 - 04 - 13

作者简介: 张洪林(1960—), 男, 辽宁辽阳人, 博士研究生, 研究员, 主要从事发射药研究

$$\frac{d}{dt} = -\frac{g \cos \alpha}{v} \quad (7)$$

$$\frac{dy}{dt} = v \sin \alpha \quad (8)$$

$$\frac{dx}{dt} = v \cos \alpha \quad (9)$$

双模块装药系统弹道设计按以下程序进行:

1) 根据底排弹最大射程的要求,设计发射药,计算底排弹的初速和膛压,并进一步计算出6号装药(最大号装药)的发射药参数和装药量.将装药量分成6等份,1/6装药量即为B单元模块的装药量.

2) 根据确定的B单元模块参数和底凹弹参数,计算3~6号装药底凹弹的内、外弹道诸元.

3) 根据3号装药(3个B单元模块)内、外弹道诸元,并以射程重叠量8%为约定条件^[7],计算出A模块2号装药的外弹道诸元.

4) 根据2号装药的外弹道诸元,设计A模块发射药,计算出2号装药的发射药参数和装药量,将2号装药的装药量二分之一作为A单元模块的装药量.

5) 计算1号装药(1个A模块)的内、外弹道诸元.

6) 检查校核各装药号内、外弹道诸元是否满足战术技术指标各项要求.

2.1 B 模块弹道设计

以某火炮模块装药为例,底排弹要求最大射程达到39 km,最大膛压小于400 MPa,底凹弹最大射程大于30 km,底凹弹最小射程小于5.4 km,最小膛压大于45 MPa.

由外弹道计算可得弹丸初速应为903 m/s.因此,B模块6号装药初速应以底排弹初速为基础设计发射药及装药.由于底排弹和底凹弹在装填参数上存在差异,当底排弹初速为903 m/s时,在模块装药不变的条件下,由内弹道计算可得底凹弹3~6号装药内弹道结果,计算结果见表1.

表1 B 模块装药内弹道计算结果

装药号	3	4	5	6	6/底排弹
初速/(m·s ⁻¹)	546.0	665.6	785.3	905.0	903.0
膛压/MPa	90.2	138.9	216.87	337.23	373.63
炮口压力/MPa	40.38	57.89	73.01	79.01	78.29
κ	0.99	0.80	0.57	0.42	0.37

注: κ 为火药燃烧结束位置(相对)

根据B模块装药内弹道计算结果,以B模块内弹道所确定的初速分级方案进行底凹弹外弹道计算,计算结果见表2.

表2 外弹道计算结果

装药号	初速/ (m·s ⁻¹)	射程 X/(m)						
		11.25°	15°	20°	45°	48°	50°	70°
3	546	7 916	9 549	11 374	16 049	—	—	10 812
4	665	10 620	12 592	14 727	—	20 303	—	14 062
5	784.3	13 470	15 747	18 305	—	—	25 052	18 152
6	903.5	16 334	19 016	21 944	—	—	30 920	23 394

各装药号不同射角的射程重叠量表3.

表3 各装药号不同射角的射程重叠量

装药号	射程重叠量 %			
	11.25°	15°	20°	70°
3~4	51.12	27.45	8.98	14.13
4~5	50.73	28.93	10.92	11.85
5~6	53.37	31.74	14.16	7.08

2.2 A 模块装药弹道设计

根据上述已确定的3号装药诸元(射角为20°时的最小射程),以射程重叠量8%为约定条件,计算2号装药在45°射角时的最大射程.

$$X_{\max} = 11\ 374 + 11\ 374 \times 10\% = 12\ 284 \text{ (m)}$$

所以,2号装药最大射程为12 284 m.根据计算2号装药所对应最大射程的初速为458 m/s.

1号装药由一个A单元模块组成,由内弹道计算出1号装药的初速302 m/s.1号装药作为最小号装药,在内弹道设计时要考虑其最大膛压能保证弹丸不留膛,保证引信能解脱保险.因此,选用适当的发射药作为1号装药发射药.A模块装药内弹道计算结果见表4.

表4 1、2号装药内弹道计算结果

装药号	初速/ (m·s ⁻¹)	膛压/ MPa	κ	炮口压力/ MPa
1	302.0	60.51	0.036	7.73
2	458.0	148.42	0.028	16.36

根据以上计算结果所确定的1、2号装药初速分级方案,进行外弹道计算,计算结果见表5.

表5 外弹道计算结果

装药号	初速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	射程 $X/(\text{m})$						
		11.25°	15°	20°	45°	48°	50°	70°
1	302	3 260	4 156	5 197	7 506	—	—	4 835
2	458	6 049	7 446	9 056	12 284	—	—	8 666

各装药号不同射角的射程重叠量见表6.

表6 各装药号不同射角的射程重叠量

装药号	射程重叠量 %			
	11.25°	15°	20°	70°
1~2	24.08	0.81	- 17.12	- 13.38
2~3	65.50	36.82	8.00	20.84

3 讨论与分析

由外弹道计算结果可见,模块装药对于底凹弹在射角为20°时可满足最小射程小于5.4 km的要求,在射角为50°时可满足最大射程大于30 km的要求.在射程重叠量方面,当最小射程角为20°时,1、2号装药射程重叠量出现空白;当最小射程角为70°时,1、2号装药射程重叠量也出现空白;当最小射程角为15°时,1、2号装药射程重叠量仅为0.81%;当最小射程角为11.25°时,1、2号装药射程重叠量满足射程重叠量大于8%的要求.其它装药号也满足射程重叠量大于8%的要求.

解决射程重叠量不满足8%的问题有两种方法,一种是进行初速分级调整,一种是调整火炮最小射程的射角.

由于模块装药的全等性,初速分级调整不能采用调整发射药量的方法.通过发射药燃烧层厚度的调整,可适当调整1号和2号装药的初速差^[8].整薄火药弧厚时,膛压升高,火药的燃烧结束点距炮口较远,火药的能量发挥完全,火炮的能量利用率较高, $P-t$ 曲线下面积基本相等,因此,膛压变化较大,初速变化不大.而当调整厚火药弧厚时,火药的燃烧结束点距炮口较近,火药的能量发挥不完全,火炮的能量利用率较低, $P-t$ 曲线下面积有所变化,初速有所变化.

火药燃烧层减薄只会引起膛压的升高,对初速影响不大,因此,此方法不能作为调节1、2号装药初速差的方法.火药燃烧层增厚时火药燃烧不完全,引起弹道性能的不稳定,同时,膛压降低,影响火炮的使用,所以,增加火药燃烧层的方法也不能作为调节1、2号初速差的方法.对相同燃厚的火药,采用多孔药和单孔药,只对膛压影响较大,而对初速影响较小.

所以,对于A模块装药,在常规发射药的条件下,通过调整发射药的燃烧层尺寸,对调整1、2号装药的初速差,效

果甚微.

所以,对于双模块装药系统,通过调整初速差的办法来改进射程重叠量是不可行的.可通过调整火炮射角来解决射程重叠量问题.

对于变装药的最小装药量,火炮实现最小射程的方法有两种,一种是用最大射角射击,由于弹道的曲射性使弹丸射程实现最小.另一种是用最小射角射击,由于弹道高较低使弹丸射程实现最小.由外弹道计算可知,采用最小射程角为11.25°的方法,可满足射程重叠量的要求.

经试验结果验证,上述计算结果与试验结果相一致.

4 结论

1) 双模块装药弹道设计要兼顾内弹道最小、最大膛压和外弹道射程重叠量.

2) 双模块装药弹道设计程序是内、外弹道结合进行的,A模块装药的最大装药号与B模块装药的最小装药号的内、外弹道性能具有衔接性.

3) 双模块装药的射程重叠量可通过调整最小射程角来实现.

参考文献:

- [1] 赵毅,邢浴仁.关于刚性组合装药“全等式”结构与“不等式”结构的讨论[J].火炸药学报,2001(1):27-29.
- [2] 彭翠枝.国外火炮用模块发射装药的发展[C]//火炸药学术研讨会论文集,北京:中国兵工学会火炸药专业委员会,2005.
- [3] 王泽山,史先扬,高敏.155 mm火炮全等式模块装药的可行性讨论[J].弹道学报,2003(3):14-18.
- [4] 彭翠枝.国外火炮作战用的模块装药系统[R].北京:中国兵器第201所,2004.
- [5] 金志明.枪炮内弹道学[M].北京:北京理工大学出版社,2004.
- [6] 郭锡福.底部排气弹外弹道学[M].北京:国防工业出版社,1995.
- [7] GB349.21,常规兵器定型试验方法[S].
- [8] 梁光建,阎文,张磊,等.基于BP神经网络的内弹道主要诸元预测[J].四川兵工学报,2009(2):29-31.