

doi: 10.7690/bgzd.2022.01.004

# 线膛火炮弹炮适配性试验技术

李希农<sup>1</sup>, 贾志远<sup>2</sup>

(1. 中国人民解放军 63863 部队, 吉林 白城 137001;

2. 陆军装备部驻沈阳地区军事代表局驻长春地区第二军代室, 长春 130000)

**摘要:** 针对线膛火炮弹炮适配性问题, 提出对身管改型产生的火炮内外弹道变化、线膛火炮弹炮适配性内涵定义、身管改型对于弹药和火炮安全性影响等问题难点, 研究线膛火炮弹炮适配性试验技术和方法, 为科学开展线膛火炮弹炮适配性试验进行探索。

**关键词:** 线膛火炮; 弹炮适配性; 试验技术

**中图分类号:** TJ30 **文献标志码:** A

## Test Method for Ammunition-artillery Compatibility of Rifled Artillery

Li Xi'nong<sup>1</sup>, Jia Zhiyuan<sup>2</sup>

(1. No. 63863 Unit of PLA, Baicheng 137001, China; 2. No. 2 Military Representative Office in Changchun, Military Representative Bureau of Army Equipment Department in Shenyang, Changchun 130000, China)

**Abstract:** Aiming at the problems for ammunition-artillery compatibility of rifled artillery, artillery interior and exterior trajectory change, the definition of ammunition-artillery compatibility, and influence of rifled change for ammunition and artillery safety, the technology and method of ammunition-artillery compatibility of rifled artillery are studied. It explored for scientific test of ammunition-artillery compatibility of rifled artillery.

**Keywords:** rifled artillery; ammunition-artillery compatibility; test techniques

### 0 引言

弹炮适配性是指弹药适配于某种火炮及其同口径系列火炮。这就要求弹药在设计过程中, 要依据现役(或已知)火炮结构参数, 特别是发射系统结构参数进行内外弹道计算和发射强度核算<sup>[1-2]</sup>。弹药弹炮适配性试验通常结合最大射程及地面密集度、终点效应、高原适应性等项目进行, 试验技术涉及内弹道试验方法、外弹道试验方法、终点效应试验方法、安全性可靠性试验方法等<sup>[3]</sup>, 试验贯穿整个弹药定型试验过程。

身管武器弹炮适配性是要求同口径火炮改型后仍然能够适配原有已定型弹药。为满足不同类型部队的需要, 要求将相同口径火炮装载到重型、中型、轻型甚至超轻型底盘(支撑系统)上, 并且需要对火炮发射系统进行技术调整。这些设计调整不可避免地会对火炮内、外弹道性能产生影响。

火炮在升级改进后为了保证对现役弹药的适用与兼容性, 在火炮改型设计过程中, 要依据现役弹药结构参数、强度参数进行内外弹道计算, 以及发射强度核算。在设计计算的基础上还需要进行弹炮

适配性试验。对这一新的鉴定要求, 在鉴定内容和评价标准上存在着较多争议, 主要原因是缺少鉴定依据和标准。

火炮升级改进后对弹炮适配性的技术要求通常为火炮能适用现役多种型号弹种。科学、完整、准确地考核身管武器弹炮适配性, 对发挥火炮的作战效能具有重大的军事意义。

为科学定义、科学考核、科学评价身管武器弹炮适配性, 为面向实战发挥火炮作战效能, 进行如下研究:

- 1) 火炮组成与弹炮适配相关性;
- 2) 身管改型的种类;
- 3) 身管改型对内外弹道性能的影响;
- 4) 明确弹炮适配性涵义;
- 5) 弹炮适配性试验技术。

### 1 火炮组成与弹炮适配相关性

适配性的概念源于计算机领域, 意为硬件之间、软件之间或是软硬件组合系统之间的相互协调工作程度, 即通常所说的兼容性。几种不同的电脑部件, 如 CPU、主板、显卡等, 如果在工作时能够相互配

收稿日期: 2021-09-29; 修回日期: 2021-10-28

作者简介: 李希农(1976—), 男, 吉林人, 硕士, 工程师, 从事兵器科学与技术研究。E-mail: bafeite830@163.com。

合、稳定地工作，则它们之间的兼容性比较好，反之兼容性不好。

火炮是利用火药燃气能量或其他能量发射弹丸的身管射击武器，其口径在 20 mm 以上(含 20 mm)<sup>[2]</sup>。它的核心作用是利用火药燃气能量或其他能量发射弹丸。

基于计算机兼容性的概念，弹炮适配性指弹药和火炮在射击过程中能够相互配合、稳定地正常工作，即弹药和火炮在射击过程中相互兼容。

火炮可由底盘系统、火控系统和火力系统等部分组成。每个部分与火炮发射弹丸的核心功能相关性不同，即与弹炮适配相关性不同。

### 1.1 底盘系统

底盘系统包括动力系统、传动系统、转向系统、制动系统、行驶系统等，底盘系统的升级或改进，与弹炮是否适配不相关。携弹行驶对弹药性能的影响主要与存储装置(弹药箱)减震固定性能相关，与火炮发射弹丸的核心功能不相关。有的火炮仅有支撑系统，不具备携行弹药的能力。总体而言，底盘系统与弹炮适配性相关度较低。

### 1.2 火控系统

火控系统用于控制武器装备对目标进行适时有效射击的系统，主要完成通信、定位定向导航、随动调炮控制等任务，包括目标探测装置，火力控制计算机、接口和系统控制台等<sup>[4-5]</sup>。

火控系统的升级、改进与弹炮是否适配存在一定联系。例如激光末端制导炮弹，要求火炮具有产生并发送信号与前方激光照射器通信的功能对于火炮发射弹丸的核心功能有直接影响，与弹炮适配性相关。需要通过实弹射击试验检验同步情况、引导情况、弹丸末端作用情况等，考核弹炮是否适配。

### 1.3 火力系统

火力系统主要完成向预定目标发射弹丸的任务。火力系统由发射系统(含炮身和炮闩)、反后坐装置(含复进机和制退机)、调炮系统、瞄准系统、炮架系统(含摇架、上架和座圈)、装填系统(含装填装置和弹药存储装置)、液压电气系统等组成。

1) 发射系统主要用于击发底火、点燃火药和发射弹丸，是火炮的核心功能区，是弹药是否适配的技术关键；

2) 反后坐装置用于控制炮身后坐和复进的运动规律，后坐时消耗和储存后坐能量，后坐结束后

推动炮身复进，该装置的工作与火药燃气能量大小相关，后坐阻力过大，会产生后坐不到位现象，后坐阻力过小，会产生后坐超长现象，从而影响火炮工作的可靠性与安全性；

3) 炮架系统是起落部分和回转部分的安装载体，承受射击和行军载荷，与反后坐装置类似，同样受到火药燃气能量大小的影响，存在弹药适配的问题；

4) 装填系统用于储存弹药和向炮膛装填弹药，存储装置和装填装置的结构尺寸决定弹药与火炮结构是否存在干涉的问题；

5) 液压电气系统为火炮调炮或供输弹提供驱动力，并且包括安全联锁、击发控制等部分。驱动力大小决定供输弹或装填弹药是否到位的问题，击发模式(机械或电力)决定弹药底火能否可靠发火的问题；

6) 调炮系统用于驱动起落部分的俯仰运动和回转部分的回转运动，为炮身赋予指向。瞄准系统用于装定调炮诸元，为人工瞄准调炮提供目标标准。这 2 个系统与弹炮适配性不相关。

梳理火炮组成与弹炮适配相关性，可以区分 3 种类型：1) 与射击功能直接相关的，由于模型存在假设或忽略次要因素，无法通过理论分析进行准确判断，需要通过射击试验才能判断弹炮是否适配，包括发射系统、反后坐装置、炮架系统 3 个组成部分；2) 与射击功能直接或间接相关的，但组成部分具有成败型产品的特点，不经过射击试验就可以准确判断是否适配，主要包括火控系统发送信号功能、击发模式(机械或电力)等；3) 与射击功能无关的，包括存储装置和装填装置的结构尺寸、携弹行驶对弹药性能的影响等。

比较火炮组成与弹炮适配相关性 3 种类型，与射击功能直接相关的类型，由于模型存在假设或忽略次要因素，无法通过理论分析进行准确判断，其中发射系统，特别是身管改型引起的适配性问题更为复杂。

## 2 身管改型的种类

火炮发射弹丸的内在规律，可以分为内弹道与外弹道 2 种学科。在理论分析和数值模拟过程中，为了抓住主要因素，内弹道与外弹道模型都是建立在一些基本假设之上。在具体实践中，这些基本假设可能会带来不被允许的误差，这就需要通过试验进行检验。

反后坐装置和炮架系统的弹炮适配性问题仅与内弹道性能有关, 而发射系统的弹炮适配性问题与内弹道、外弹道均有关, 通过对发射系统试验就可以兼顾检验反后坐装置和炮架系统的弹炮适配性。

火炮发射系统主要由身管和炮闩组成, 其中炮闩是承受燃气压力, 与其他构件一起完成闭锁、击发、开锁、开闩和抽壳的构件。炮闩也仅与内弹道有关, 通过对身管的试验就可以兼顾炮闩适配性。

火炮身管是完成炮弹装填和发射的关重部件, 通过身管改型实现火炮的升级或改进是一条重要的技术路径, 具有重要的战术意义。一种弹药依据改型前的身管设计定型, 达到一定的战术技术性能, 能否适应改型后的身管? 战术技术性能是否会发生改变? 这些是弹炮适配性的核心问题。

身管改型最常见的是身管长度的变化, 也有膛线的改变, 包括膛线具体形式(等齐、渐速、正弦、立方-抛物线)变化、缠度变化、膛线深浅变化、膛线数量变化等。

身管长度和膛线的改变, 对内弹道和外弹道都会产生影响, 且难以通过理论分析和数值模拟进行准确判断, 需要通过试验检验适配性。

身管改型也有药室变化的情况, 包括坡膛锥度变化、药室容积变化等; 但这些变化具有成败型问题的特点, 不经过试验, 仅通过理论分析就可以准确判定弹炮不适配。

### 3 身管改型对内外弹道性能的影响

为了提高火炮机动投送能力、弹道性能, 缩短反应时间等战术性能, 需要对火炮身管进行技术调整, 如改变身管长短、膛线缠度和改变膛线深浅等。梳理身管改型对内外弹道的影响有助于明确弹炮适配性的适用范围, 科学定义弹炮适配性。

#### 3.1 身管长度改型对内弹道性能的影响

弹丸是在火药气体的推动下运动, 身管长度增加, 则弹丸受火药气体作用的时间增长, 初速会相应增加。在装填条件(弹药、药室容积、挤进压力)没有改变情况下, 最大膛压并不会随身管长度变化而改变。

#### 3.2 身管膛线改型对内弹道性能的影响

膛线缠度变小或者膛线深度增加, 都会增加挤进压力。挤进压力提高有利于点火药对火药的引燃效能, 即在弹丸还未起动前可以保证火药全部引燃。这样就减少了因火药燃烧不一致所引起的弹道性能

的波动, 但挤进压力增大会增加对膛线起始段磨损, 使火炮身管寿命降低。挤进压力增加也会导致火炮膛压升高。

分析膛线缠度变小或者膛线深度增加对初速的影响, 是十分困难的。目前, 火炮发射的内弹道过程理论分析和数值模拟中, 为了简化模型, 一般将(膛线)摩擦阻力的影响用次要功系数  $\varphi$  来体现:

$$\varphi = \varphi_1 + \omega/3q \quad (1)$$

其中:  $\omega$  为火药质量;  $q$  为弹丸质量;  $\varphi_1$  为阻力系数。实用弹道学计算通常会推荐使用下面所列出的一些值。对于大威力火炮,  $\varphi_1=1.02\sim 1.03$ ; 对于中等威力火炮  $\varphi_1=1.05\sim 1.06$ ; 对于小口径武器,  $\varphi_1=1.10^{[2]}$ 。

通过阻力系数计算火炮发射的内弹道过程的初速, 是无法反应出膛线缠度变小或者膛线深度增加对初速的影响, 但这也说明膛线缠度变小或者膛线深度增加对初速的影响十分有限, 容易被身管的弹性变形、身管药筒弹丸的发热、弹丸前端空气被压缩以及其他能量损失产生的影响所淹没。

在没有热损失、额外气体流入及额外能量流入的情况下, 所有气体内能都用于推动弹丸, 并满足一定的假设条件下, 此时弹丸可以获得极限弹丸速度  $v$ :

$$v = \sqrt{2f\omega/\theta\varphi q} \quad (2)$$

其中:  $f$  为火药力;  $\theta$  为气体可燃物比热比;  $\omega$  为火药质量;  $q$  为弹丸质量;  $\varphi$  为次要功系数。膛线缠度变小或者膛线深度增加, 会增加弹丸沿身管纵向运动的阻力, 在膛线具体形式不变的情况下, 气体内能的次要功(系数)增大, 由极限弹丸速度方程可以推断出: 弹丸的初速会降低。

由于极限弹丸速度方程存在诸多假设条件, 在实际中并不能用来进行初速的定量计算, 仅仅通过该方程定性分析膛线缠度变小或膛线深度增加对初速的影响。在具体实践中, 膛线的改型并不是单纯的膛线缠度变化, 往往会同时有膛线具体形式的变化。膛线具体形式的变化会导致膛线阻力不同特性的变化。这些变化对弹丸初速的影响更加复杂。

#### 3.3 身管长度改型对外弹道性能的影响

身管长度增加, 则弹丸受火药气体作用的时间增长, 初速会相应增加, 射程则随初速的增加而增大。一般来说, 随着射程增大, 射程的散布也逐渐增大。

身管长度减少,就意味着较小的火药燃烧工作容积,从而导致火炮发射药相对燃烧结束位置接近炮口,必然会引起部分发射药颗粒不能在膛内充分燃烧,导致初速减小。在身管长度与药室容积不匹配的情况下,不仅发射药能量得不到充分利用,还会引起弹丸初速的或然误差增大,必然会导致射程散布的增加。早期 45 倍口径 155 mm 加榴炮(23 L 药室)就不同程度存在这个问题。

### 3.4 身管膛线改型对外弹道性能的影响

膛线缠度变小,当弹径和初速一定时,则意味着弹丸出炮口的转速增大,弹丸飞行的陀螺稳定性提高,弹丸的射程散布减小。膛线缠度变小,则挤进压力增大,膛线起始段磨损增加,使火炮身管寿命降低。

考虑到提高火炮身管寿命,在实践中会改变膛线具体形式,如采用起始段缠度较大,而炮口段缠度较小的渐速膛线(混合膛线)。这 2 种形式的膛线与等齐膛线相比,会提高火炮身管寿命。其中开始阶段为渐速膛线,炮口部为等齐膛线的混合膛线,在 2 种形式的过渡段,膛线导转侧的压力将发生突然变化,理论认为这个突变将影响弹丸飞行的稳定性,增加射程散布,如图 1 所示。

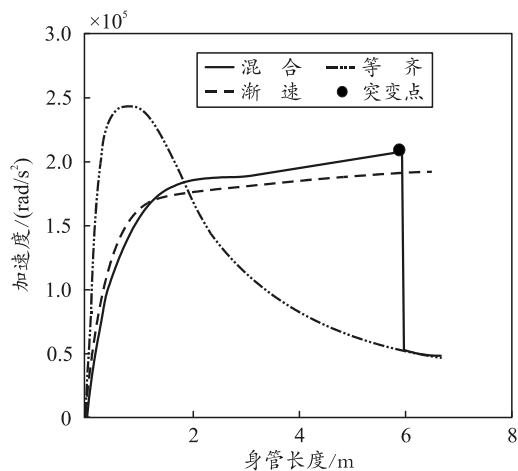


图 1 不同形式膛线变化的阻力特征

综合以上分析,可以发现身管改型无论是长度改型还是膛线改型,均会改变火炮内外弹道性能。

## 4 弹炮适配性定义及涵义

弹炮适配性是指火炮的适用性性能,即火炮可以配套适用某种定型弹药的能力。美国著名的质量管理专家朱兰(J.M.Juan)从产品使用者的角度,提出了产品质量就是产品适用性的论断,即产品在使用时能满足用户需要的程度。从满足作战使用需求

划分,弹炮适配性可以划分为 3 个等级。

1) 平均弹道一致。即在保证射击精度的基础上,可以使用同一射表,是内、外弹道模型层级上的适配,是最高等级的适配。

2) 保证射击精度。即在可以使用的的基础上,还可以保证火炮射击密集度不降低,是在性能层级上的适配。

3) 可以使用。即射击过程中,火炮机构动作正常、弹丸飞行弹道正常、弹丸落区作用正常,是在保证弹药和火炮安全(即装备和人员安全)层级上的适配。

### 4.1 平均弹道一致

平均弹道一致,对弹药和火炮的设计改变有十分严格的要求。通过理论分析可知,只有保证弹药弹型不变、火炮发射系统不变(身管型制不变)的前提下,火炮或弹药其余部分做改动才可能保持内外弹道模型不变,在工程上实现平均弹道一致。

火炮改型后,仍想利用同一射表射击原有弹药,则火炮的改型将受到最大的限制,底盘系统、火控系统、火力系统之中,仅可以进行火控系统的升级改造,而底盘系统或者火力系统的改造都会影响平均弹道一致性<sup>[6-8]</sup>。

### 4.2 保证射击精度

保证射击精度,是指弹药或火炮的设计更改,在可以使用的的基础上,还可以保证火炮射击密集度不降低。因为存在射程增加或减少的情况,所以保证射击密集度不降低,不代表可以使用同一射表。

火炮改型后,想保证射击精度,则火炮的改型将受到很多限制,特别是底盘系统和火力系统(不包括发射系统)的改型,往往会造成火炮射击稳定性的改变。

### 4.3 可以使用

可以使用是适配基本要求。即射击过程中,火炮不会因为弹药原因发生损坏,机构动作正常;弹药不会因为火炮原因损坏,弹丸飞行弹道正常,弹丸落区作用正常。可以使用是在保证弹药和火炮安全——同时保证操作人员安全基础层级上的适配。

火炮改型后,如果仅要求可以使用,则火炮的改型受到的限制最少,底盘系统、火控系统和火力系统都可以更改。

考虑到弹炮适配性背景,为满足不同类型部队的需要,将相同口径火炮装载到重型、中型、轻型

甚至超轻型底盘(支撑系统)上。此类火炮改型必然会涉及到底盘系统、火控系统和火力系统的变化,也就意味着火炮内外弹道性能的变化。此类火炮改型涉及的弹炮适配性属于可以使用层级上的适配。

如果火炮改型没有涉及到火力系统的变化,则带来的仅仅是射击精度的变化,与弹炮适配性相关度很小。而火炮发射系统的改型,特别是身管的改型,意味着初速、膛压、射程、密集度都会发生改变,射击精度和平均弹道也会发生变化,需要适配已定型的弹药,这种情况下会涉及弹炮适配性的要求。综合以上分析,形成弹炮适配性定义。

线膛火炮弹炮适配性是指由于火炮改型等原因,发射系统特别是身管型制发生改变,现役弹药和改型火炮在工作时仍然能够相互配合、稳定地正常工作。

### 5 弹炮适配性试验技术

身管改型无论是长度改型还是膛线改型,均会改变火炮内外弹道性能,即作用在弹体及零件上的载荷会发生变化。当载荷引起的弹体变形程度过大,就会影响弹丸在膛内的正确运动,引起射击精度恶化;甚至使弹丸阻塞于膛内或发生破裂酿成膛炸。射击过程中,火炮会因膛压增大而损坏,或因后坐不足机构动作异常;弹药会因为身管改型,弹丸飞行弹道异常,弹丸落区作用异常。

为了考核弹炮适配性,即射击过程中,火炮是否因为弹药原因发生损坏,机构动作是否正常;弹药是否因为火炮原因损坏,弹丸飞行弹道是否正常,弹丸落区作用是否正常,需要对由于身管改型对弹药、火炮产生的影响进行试验,试验涉及到内弹道、外弹道、火炮强度试验、火炮工作可靠性试验、弹药终点效应试验、弹药安全性可靠性试验等多方面试验技术。

弹炮适配性试验相关技术汇总如表 1 所示。

### 6 结论

弹药适配性试验涉及内弹道、外弹道、火炮强度试验、火炮工作可靠性试验、弹药终点效应试验、弹药安全性可靠性试验等多方面试验技术。对于单一弹种来说,弹药适配性试验需要按照军标现有方法累加进行,试验消耗弹药量等同于弹药定型。

弹炮适配要求射击过程中,保证火炮安全和弹道稳定,保证弹药安全且作用正常;因此,将弹炮

适配性分成火炮安全性、射击功能、弹药安全性、弹道稳定性和弹药终点效应 5 部分进行考核。

表 1 弹炮适配性试验技术和方法汇总

序号	受到的影响	试验技术	弹药条件	参考国军标
1	内弹道性能变化	内弹道试验	全装药砂弹假引信	GJB2973-97 火炮内弹道试验方法
2	外弹道性能变化	立靶密集度试验	全装药实弹摘火引信	GJB2974-97 火炮外弹道试验方法
3	外弹道性能变化	最大射程地面密集度试验(最大射高及对空密集度试验)	全装药实弹真引信	GJB2974-97 火炮外弹道试验方法
4	火炮关键件塑性形变	火炮强度试验	强装药砂弹假引信	GJB2971-97 火炮安全性和勤务性试验方法
5	火炮机构动作、工作可靠性	战斗射速射击	全装药砂弹假引信	GJB2976-97 火炮射击功能试验
6	火炮机构动作、工作可靠性	减装药机构动作	减装药砂弹假引信	GJB2976-97 火炮射击功能试验
7	弹体变形、弹带位移	弹体、零部件结构强度及作用可靠性	强装药砂弹假引信	GJB3197-98 炮弹试验方法
8	弹体装填物射击安定性差,膛炸或弹道早炸	弹体装填物射击安定性	强装药实弹假引信	GJB3197-98 炮弹试验方法
9	弹药终点效应	终点效应试验	全装药实弹真引信	GJB3197-98 炮弹试验方法

### 参考文献:

- [1] 王星红,陶钢,李召.线膛复合身管无座力炮内衬厚度影响分析[J].兵工自动化,2020,39(7):52-55.
- [2] 包光辉,王国平,黎超,等.考虑火炮身管后坐的内弹道两相流数值仿真方法[J].兵工自动化,2020,39(12):80-83.
- [3] 国防科学技术工业委员会.炮弹试验方法:GJB3197-98[S].北京:中国标准出版社,1998.
- [4] 国防科学技术工业委员会.火炮射击术语、符号:GJB1837-93[S].北京:中国标准出版社,1993.
- [5] 钱林方.火炮弹道学[M].1版.北京:北京理工大学出版社,2009:155-161.
- [6] 兰光武,陈三强,蒲伟,等.某火炮系统弹道一致性影响因素分析[J].四川兵工学报,2014,35(1):13-16.
- [7] 温万全,叶志红,林演员.某型车载式榴弹炮与同口径牵引式榴弹炮弹道一致性实弹检验与分析[J].现代炮兵学报,2011,27(4):6-9.
- [8] 叶志红,温万全.某新型自行榴弹炮与同口径牵引榴弹炮弹道一致性实弹检验与分析[J].射击学报,2011,3:13-16.