

【武器装备】

# 弹道一致性试验判据的分析和建议

王声生

(解放军炮兵学院5系,合肥 230031)

**摘要:**介绍了国家军用标准(简称国军标)弹道一致性试验判据,运用数理统计和射击理论知识,分析了弹道一致性试验判据的不完善之处,从判据的统一性和稳健性等方面给出了建议。

**关键词:**弹道一致性;国军标;试验判据

中图分类号:TJ012

文献标识码:A

文章编号:1006-0707(2011)10-0064-03

## Analysis and Recommendation for Trajectory Consistency Test Criterion

WANG Sheng-sheng

(No.5 Department, Artillery Academy of PLA, Hefei 230031, China)

**Abstract:** The deficiency is analyzed based on statistic and firing theory, several pieces of advice are proposed about unity and robustness of criterion. There is reference value for improving criterion and trajectory consistency test in some degree in this paper.

**Key words:** trajectory consistency; GJB; test criterion

随着战术技术水平的不断提高,武器弹药得到了迅猛的发展。为了适应战术的灵活性和弹药的多样性,往往要求同一火炮系统能够发射多种弹药,且要求这些弹药能够通用射表和火控系统,并保证一定的射击效果,进而提高火炮系统的战场反应能力,满足一定的战技指标。

弹道一致性是指同一火炮系统在气象条件、射击方法都相同的条件下,发射2种以上不同性质的炮弹,2种炮弹的平均弹道差异不大的性质<sup>[1]</sup>。研究弹道一致性的目的就是为了解决2种不同性质的炮弹在同一火炮系统上能够通用射表,实现2种弹混装射击并能够保证一定的射击效果。弹道一致性试验判据是纯数学的概念,而通用射表是工程问题,采用弹道一致性试验判据来界定通用射表便常常出现与实际情况相悖的问题。

### 1 国家军用标准弹道一致性试验判据

目前,一般采用国家军用标准(简称国军标)弹道一致性试验判据<sup>[2]</sup>,它又称多组试验 $T$ 检验判据。现以立靶纵向坐标为 $Y$ 为例介绍:

$$|\Delta \bar{y}| \leq \frac{t_{\alpha/2} m(n-1)}{0.6745 \sqrt{mn}} E\Delta y \quad (1)$$

式中:  $|\Delta \bar{y}|$  为2种弹的两发对应高低坐标差的 $m$ 组平均值的绝对值; $m$ 为射击的组数; $n$ 为每一组射击的对数; $\alpha$ 为显著水平; $t_{\alpha/2}$ 为对应 $\alpha$ 和自由度 $f=m(n-1)$ 的 $t$ 分布界限值; $E\Delta y$ 为2种弹高低坐标差的中间误差的估计。

设  $\lambda'_{\alpha} = \frac{t_{\alpha/2} m(n-1)}{0.6745 \sqrt{mn}}$ , 称其为弹道一致性界限系数,则

判别准则为:如果  $|\Delta \bar{y}| \leq \lambda'_{\alpha} E\Delta y$ , 认为2弹满足弹道一致性;如果  $|\Delta \bar{y}| > \lambda'_{\alpha} E\Delta y$ , 认为2弹不满足弹道一致性。

现行弹道一致性试验判据作为替代判别通用射表的方法,在长期的工程实践中发现其存在一些不足,主要表现为:<sup>[3]</sup>① 检验的结果受弹丸散布的影响比较大;② 检验结果受试验用弹量的影响很大;③ 对系统误差允许限没有考虑。

### 2 国家军用标准弹道一致性试验判据问题的分析

#### 2.1 散布对国军标弹道一致性试验判据的影响

某火炮配备的2种弹A和B,某靶距 $Y$ 方向上的3组弹道一致性试验数据如表1,每组10发,取置信水平为 $\alpha=5\%$ 。

收稿日期:2011-08-11

作者简介:王声生(1986—),男,硕士研究生,主要从事火炮、自动武器与弹药兵器测试研究。

表1 某火炮的2弹弹道一致性数据

组	弹										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A	5.727	3.265	3.792	5.332	4.668	9.582	4.682	4.383	4.456	4.548
	B	3.839	4.833	7.965	8.826	6.955	9.607	2.471	5.425	6.378	8.145
2	A	2.669	2.144	2.398	4.955	3.271	5.482	3.210	4.817	4.319	2.550
	B	5.896	1.969	2.594	5.754	3.122	4.856	4.160	5.764	6.646	6.055
3	A	4.681	3.382	5.419	6.262	4.832	4.990	4.253	4.029	4.110	4.688
	B	4.596	6.851	4.314	6.425	4.873	6.811	5.933	5.345	5.310	7.184

计算结果如下:

$$|\Delta \bar{y}_1| = 1.4019 \quad |\Delta \bar{y}_2| = 1.1001 \quad |\Delta \bar{y}_3| = 1.0996 \quad (2)$$

$$E_{\Delta y_1} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta y_{1j} - \Delta \bar{y}_1)^2} = 1.4897 \quad (3)$$

$$E_{\Delta y_2} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta y_{2j} - \Delta \bar{y}_2)^2} = 0.9783 \quad (4)$$

$$E_{\Delta y_3} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta y_{3j} - \Delta \bar{y}_3)^2} = 0.9199 \quad (5)$$

$$\lambda'_{\alpha} E_{\Delta y_1} = 1.5799, \lambda'_{\alpha} E_{\Delta y_2} = 1.0376, \lambda'_{\alpha} E_{\Delta y_3} = 0.9756 \quad (6)$$

根据国军标弹道一致性判据,由上述结果可以得出:第1组满足弹道一致性,剩下2组不满足弹道一致性。

$$|\Delta \bar{y}_1| / |\Delta \bar{y}_2| = 1.2743, |\Delta \bar{y}_1| / |\Delta \bar{y}_3| = 1.2749,$$

$$E_{\Delta y_1} / E_{\Delta y_2} = 1.5227, E_{\Delta y_1} / E_{\Delta y_3} = 1.6194 \quad (7)$$

计算结果显示:第1组的平均弹着点距离分别是第2组和第3组的1.2743倍和1.2749倍;第1组的散布散步偏差分别是第2组和第3组的1.5277倍和1.6194倍。

由此可知,弹道一致性试验结果受弹丸散布的影响较大,有时导致平均弹着点接近的试验数据其检验结果不满足弹道一致性<sup>[4]</sup>。

弹道一致性判据式(1)不等号右边的值主要由弹丸散布大小决定。假定2弹平均弹着点保持不变,改变弹丸的散布,随着弹丸散布的不断减小,不等号右边的值也不断减小,2弹越难满足弹道一致性。弹丸的散布差异越大,越容易满足弹道一致性。这显然是不合理的,弹丸的散布所造成对检验结果的影响是国军标弹道一致性试验判据本身固有的问题。

## 2.2 组数对试验结果的影响

某火炮配备的2种弹A和B,某靶距Z方向上的3组弹道一致性试验数据如表2,每组10发,取置信水平为 $\alpha = 5\%$ 。

表2 某火炮的2弹弹道一致性数据

组	弹										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	A	3.492	2.703	3.179	9.009	5.974	5.379	3.538	-2.067	4.824	5.071
	B	1.870	0.298	-1.416	3.759	5.213	7.759	0.374	4.723	2.073	3.862
2	A	-1.48	-1.995	0.242	-2.439	-0.880	-2.485	-1.494	0.390	-3.210	-1.143
	B	-2.53	0.809	-4.903	-5.349	-1.149	-4.182	-1.497	-5.289	-3.304	-2.866
3	A	3.987	3.365	2.916	2.458	2.267	6.304	3.378	4.763	2.685	5.167
	B	2.151	1.748	1.036	4.247	1.877	3.079	3.939	3.783	2.178	6.436

因为  $m=3, n=10$ , 查  $T$  分布表得:

$$|\Delta \bar{z}_1| = 1.2587, |\Delta \bar{z}_2| = 1.5766, |\Delta \bar{z}_3| = 0.6816 \quad (8)$$

$$E_{\Delta z_1} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta z_{1j} - \Delta \bar{z}_1)^2} = 2.3862 \quad (9)$$

$$E_{\Delta z_2} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta z_{2j} - \Delta \bar{z}_2)^2} = 1.7008 \quad (10)$$

$$E_{\Delta z_3} = 0.6745 \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\Delta z_{3j} - \Delta \bar{z}_3)^2} = 1.0490 \quad (11)$$

$$\lambda'_{\alpha} E_{\Delta z_1} = 2.5308, \lambda'_{\alpha} E_{\Delta z_2} = 1.8039, \lambda'_{\alpha} E_{\Delta z_3} = 1.8039 \quad (12)$$

3 组合并, 计算结果为:

$$|\Delta \bar{z}| = \frac{|\Delta \bar{z}_1 + \Delta \bar{z}_2 + \Delta \bar{z}_3|}{3} = 1.723 \quad (13)$$

$$E_{\Delta z} = \sqrt{\frac{1}{3}(E_{\Delta z_1}^2 + E_{\Delta z_2}^2 + E_{\Delta z_3}^2)} = 1.7970 \quad (14)$$

$$\lambda'_{\alpha} E_{\Delta z} = 0.9980 \quad (15)$$

以上计算结果显示: 单组计算都分别满足弹道一致性, 合并起来检验却不满足弹道一致性<sup>[5]</sup>。

实际应用中, 随着试验组数的增加, 试验量的增多, 试验结果越不容易满足弹道一致性。随着试验组数  $m$  的增加,  $n$  保持不变, 对于试验判据式(1)不等号左边的数值不变, 右边的数值不断变小。由此可见, 随着试验组数的增加, 试验结果越不容易满足弹道一致性。导致这种情况的原因主要是试验判据本身的缺点和数据并不是完全满足假设条件。

### 2.3 系统允许误差分析

国家军用标准弹道一致性试验判据是以允许误差  $d_0 = 0$  为前提的, 是期望最理想的情况。如果  $d_0 = 0$ , 则可以认为,  $n \rightarrow \infty$  时, 2 弹的参数期望应当完全一致, 但是, 2 弹的平均弹道不可能完全一致<sup>[6]</sup>。设计时 2 弹标准弹道的差异和试验时 2 弹平均弹着点的差异不是一个概念, 标准弹道的差异是系统误差, 平均弹着点的差异是包括系统误差的, 若是不排除系统误差, 会使试验判据更加严格, 不易通过弹道一致性的检验。运用计算机模拟结果表明实际运用中的  $d_0$  不可能等于 0, 这样便解释了试验结果随着组数增加越难满足弹道一致性。对于不同的火炮系统, 不同的弹丸, 不同的检验方法,  $d_0$  的取值应当根据实际技术水平、应用背景确定。

## 3 建议

研究弹道一致性的目的是为了界定通用射表, 现行国家

军用标准弹道一致性试验判据在实际应用中存在诸多问题, 要建立新的弹道一致性试验方法, 应当考虑:

1) 要确定合理的系统允许差异。研究弹道一致性就是要讨论 2 弹平均弹着点的差异问题, 建议采用原始试验积累下的经验值, 或者采用计算机模拟, 将理想状态下两弹用同一射表模拟射击的最优差异值。

2) 检验试验判据的稳定性、统一性。弹道一致性试验的误差因素比较多, 出现许多错误数据和数据与假设条件相矛盾的情况, 现行国家军用标准弹道一致性试验判据就失去了优越性, 建议结合稳健估计理论, 建立稳健的试验判据。现行试验判据不等号右边受弹丸散布影响很大, 因此, 建议明确检验量接受限, 这个接受限应当受试验数据的影响不大。

3) 火炮系统实际射击效果对试验判据的反映。研究弹道一致性的目的是判断 2 种不同性质的弹满足通用射表的情况, 界定通用射表是工程问题, 应当综合考虑火炮系统的射击精度(准确度和精确度)以及最终的毁伤目标情况。建议对火炮系统的射击精度进行合理计算以及射击准确度和射击精确度的有效结合<sup>[7]</sup>。

## 4 结束语

对现行国家军用标准弹道一致性试验判据的不合理之处进行了深入细致地分析, 对今后弹道一致性试验方法的研究有一定的指导意义。综合分析了影响试验判据的原因, 给出了完善试验判据的建议, 有助于今后更加合理的应用。

## 参考文献:

- [1] 张领科, 王中原, 王枫. 弹箭通用射表及弹道一致性检验方法[M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 王益森. GJB349.17-89. 常规兵器定型试验法-榴弹[S]. 北京: 国防科学技术委员会, 1989.
- [3] 郭锡福. 通用射表接受界的确定[J]. 南京理工大学学报, 2003, 27(5): 478-482.
- [4] 王中原, 王良明, 于骥. 弹药靶场试验[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1996.
- [5] 倪忠仁, 田芳. 关于弹道一致性检验[J]. 兵工学报, 2003, 24(1): 27-29.
- [6] 阎章更, 祁载康. 射表技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
- [7] 徐明友. 弹道一致性试验准则中的问题[J]. 弹道学报, 2004, 16(1): 16-18.

(责任编辑 陈松)