

doi: 10.7690/bgzd.2020.05.013

跨音速弹药射表修正量对简易法精度检验影响分析

苟上会, 武满宏, 李顺利, 何斌, 罗熙斌

(中国华阴兵器试验中心, 陕西 华阴 714200)

摘要: 为解决弹药速度在跨音速时用射表检验火控简易法解算精度出现误差较大的问题, 对其进行分析并提出改进措施。从实例和理论 2 个方面分析问题存在的原因, 并给出了单因素弹道条件变化时用射表检验火控简易法解算精度的有效方法。结果表明, 该方法能更准确地评价火控解算精度。

关键词: 跨音速; 射表; 火控; 精度

中图分类号: TJ012 **文献标志码:** A

Influence Analysis of Transonic Ammunition Firing Table Correction on Simple Method Accuracy Test

Gou Shanghui, Wu Manhong, Li Shunli, He Bin, Luo Xibin

(China Huayin Ordnance Test Center, Huayin 714200, China)

Abstract: In order to solve the problem of large error when the ammunition velocity is in transonic velocity and calculating accuracy of simple fire control method checked by firing table, the paper analyses the problem and proposes the improvement measures. This paper analyses the reasons of the problem from 2 aspects, including example and theory, and gives an effective method to check the accuracy of the simple fire control method with firing table when the single factor trajectory condition changes. The results show that this method can evaluate the accuracy of fire control calculation more accurately.

Keywords: transonic; firing table; fire control; accuracy

0 引言

目前, 现代火炮大多装备了火控系统。射表不仅仅是火炮有效、准确射击时手工作业的文书, 而且是武器装备定型试验时火控解算精度检验必不可少的工具。在进行某型迫榴炮火控解算精度检验试验时, 射表计算^[1]和火控弹道解算采用相同的弹道模型和弹道参数, 在标准条件下火控解算精度检验完全合格, 但在用射表进行简易法^[2]解算精度检验时, 当弹丸初速处于跨音速段, 初速、纵风和气温等弹道条件变化时, 出现了火控解算弹道诸元和用射表计算的弹道诸元存在较大误差的情况。这种情况到底是火控解算的问题, 还是射表计算的问题或者是应用射表时出现了问题? 笔者从实例和理论 2 个方面分析了问题存在的原因, 并给出了单因素弹道条件变化时用射表检验火控简易法解算精度的有效方法。

1 射表修正量计算方法

用射表检验火控简易法解算精度涉及到射表 2 部分内容: 1) 标准条件^[3]下的基本诸元; 2) 射表

修正量。由于火控解算精度检验试验时, 在标准条件下火控解算精度检验结果完全合格; 因此, 误差应该出现在射表修正量方面。笔者仅以射距离修正量为例进行分析。目前, 国军标规定的射表射距离修正量^[3]的计算方法如下。

在已知标准条件下射距离为 X_b 的基础上, 分别给出初速、气温、气压、药温等偏差量 Δv 、 $\Delta \tau$ 、 Δh 、 ΔT 和纵风 W_x 的值, 再将初速 $v_b \pm \Delta v$ 、气温 $\tau_b \pm \Delta \tau$ 、气压 $h_b \pm \Delta h$ 、药温 $T_b \pm \Delta T$ 、纵风 $\pm W_x$ 等分别代入弹道方程组, 在其他条件均为标准条件下计算偏差量符号为“+”的射距离 X^+ 和偏差量符号为“-”的射距离 X^- 。这样得到射距离修正量 $\Delta X^+ = |X_b - X^+|$ (简称正修正量) 和射距离修正量 $\Delta X^- = |X_b - X^-|$ (简称负修正量), 然后将 2 个修正量平均就得出射表修正量: $\Delta X = (|\Delta X^+| + |\Delta X^-|) / 2$, 经简化: $\Delta X = (|X^+ - X^-|) / 2$ 。

显然, 军标规定的这种射距离修正量计算方法认为: 正修正量 ΔX^+ 和负修正量 ΔX^- 的值基本相等, 即 $\Delta X^+ - \Delta X^- \approx 0$ 。那么在射表修正量计算时, $\Delta X^+ - \Delta X^- \approx 0$ 是否在所有情况下成立, 对火控解算精度检验是否有影响, 笔者通过实例进行分析。

收稿日期: 2020-01-12; 修回日期: 2020-03-10

作者简介: 苟上会(1965—), 男, 陕西人, 硕士, 高级工程师, 从事外弹道试验与射表编拟研究。E-mail: sbzgzsh@sina.com。

2 实例分析修正量对简易法精度的影响

国军标规定射表修正量 ΔX 的计算采用了 ΔX^+ 和 ΔX^- 的平均值, 在进行火控简易法解算精度检验时, 偏差量不是“+”就是“-”, 那么用射表检验火控简易法时用平均值 ΔX 替正负修正量 ΔX^+ 或 ΔX^- 是否合理? 笔者通过某型迫榴炮杀伤爆破弹射表修正量计算来进行验证。

表1—6是某型迫榴炮杀伤爆破弹初速、气温、气压、药温等偏差量和纵风等数值分别为10时, 不同装药号在海拔0 m时最大射距离修正量计算结果。

表1 7号装药(初速425 m/s)

| 修正量 | 初速 | 纵风 | 气温 | 气压 | 药温 |
|---------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| ΔX^+ | 176.1 | 344.7 | 201.8 | 47.3 | 43.2 |
| ΔX^- | 174.3 | 343.1 | 203.3 | 46.6 | 44.0 |
| ΔX | 175.2 | 343.9 | 202.6 | 47.0 | 43.6 |
| $ \Delta X - \Delta X^+ $ | 0.9 | 0.8 | 0.8 | 0.4 | 0.4 |

表2 6号装药(初速349 m/s)

| 修正量 | 初速 | 纵风 | 气温 | 气压 | 药温 |
|---------------------------|-------|-------|-------|------|------|
| ΔX^+ | 180.0 | 288.3 | 167.1 | 33.4 | 20.7 |
| ΔX^- | 198.0 | 297.5 | 175.5 | 32.6 | 22.0 |
| ΔX | 189.0 | 292.9 | 171.3 | 33.0 | 21.4 |
| $ \Delta X - \Delta X^+ $ | 9.0 | 4.6 | 4.1 | 0 | 0.6 |

表3 5号装药(初速296 m/s)

| 修正量 | 初速 | 纵风 | 气温 | 气压 | 药温 |
|---------------------------|-------|-------|------|------|------|
| ΔX^+ | 311.7 | 159.0 | 71.9 | 26.0 | 21.2 |
| ΔX^- | 327.0 | 171.2 | 80.1 | 25.2 | 22.3 |
| ΔX | 319.4 | 165.1 | 76.0 | 25.6 | 21.8 |
| $ \Delta X - \Delta X^+ $ | 7.7 | 6.1 | 4.1 | 0.4 | 0.6 |

表4 4号装药(初速276 m/s)

| 修正量 | 初速 | 纵风 | 气温 | 气压 | 药温 |
|---------------------------|-------|-------|------|------|------|
| ΔX^+ | 339.5 | 109.1 | 41.3 | 18.4 | 27.0 |
| ΔX^- | 338.5 | 110.9 | 42.3 | 17.5 | 28.0 |
| ΔX | 339.0 | 110.0 | 41.8 | 18.0 | 27.5 |
| $ \Delta X - \Delta X^+ $ | 0.5 | 0.9 | 0.5 | 0.5 | 0.5 |

表5 3号装药(初速230 m/s)

| 修正量 | 初速 | 纵风 | 气温 | 气压 | 药温 |
|---------------------------|-------|------|------|------|------|
| ΔX^+ | 318.4 | 74.6 | 24.6 | 11.0 | 27.7 |
| ΔX^- | 317.0 | 75.2 | 25.9 | 10.1 | 28.7 |
| ΔX | 317.7 | 74.9 | 25.3 | 10.6 | 28.2 |
| $ \Delta X - \Delta X^+ $ | 0.7 | 0.3 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |

表6 2号装药(初速185 m/s)

| 修正量 | 初速 | 纵风 | 气温 | 气压 | 药温 |
|---------------------------|-------|------|------|-----|------|
| ΔX^+ | 281.6 | 48.2 | 24.6 | 4.8 | 25.8 |
| ΔX^- | 282.8 | 46.9 | 25.9 | 5.8 | 24.9 |
| ΔX | 282.2 | 47.6 | 25.3 | 5.3 | 25.4 |
| $ \Delta X - \Delta X^+ $ | 0.6 | 0.6 | 0.7 | 0.5 | 0.5 |

从表1—6中可以看出:对于弹丸速度处于超音速、亚音速的7号装药和2~4号装药,射表修正量 ΔX 与正修正量 ΔX^+ 或负修正量 ΔX^- 相差很小,基本上不超过1 m,这种情况下,用射表检验火控简易

法解算精度误差也会很小。对于弹丸速度处于跨音速的6号装药和5号装药,初速、纵风和气温的射表修正量 ΔX 与 ΔX^+ 或 ΔX^- 相差较大,在4.1~9.0 m,用射表检验火控简易法解算精度时,无论偏差量是正还是负,由于火控弹道解算的值和 ΔX^+ 或 ΔX^- 相同,用射表表载初速、纵风和气温修正量 ΔX 计算的射击诸元就会和火控弹道解算诸元产生较大误差,而且还会随着纵风、气温和初速的量值增大而增大,这也正是火控解算精度检验实验中出现问题原因。

为了验证上述情况的普遍性,分别对某型迫榴炮所配用的杀爆迫弹、预制破片弹、子母弹、多用途弹和火箭增程弹等多个弹药的修正量进行计算分析(由于数据量比较多,此处不再赘述)^[6],其结论一致。

跨音速弹药初速、纵风和气温射表修正量 ΔX 与正修正量 ΔX^+ 或负修正量 ΔX^- 间存在较大误差,因此,使用射表检验火控简易法解算精度时,在初速、纵风和气温等单因素影响下可能会出现较大误差。

3 跨音速弹药射表修正量误差原因分析

跨音速弹药初速、纵风和气温的射表修正量 ΔX 与正修正量 ΔX^+ 或负方向 ΔX^- 为什么会存在较大误差,进而造成用射表检验火控简易法解算精度产生误差?笔者以质点弹道模型^[4]为基础进行理论分析。为使问题简单化,笔者仅以初速修正量为例进行分析。

假设弹药初速为 v_0 、弹丸自身阻力系数为 $C_D(M)$,火炮射角为 θ_0 ,根据外弹道^[5]知识:在标准条件下射距离为 $X_b=f(C_D(M),\theta_0,v_0)$,而在初速变化 Δv 的条件下射距离为 $X=f(C_D(M'),\theta_0,v_0+\Delta v)$ 。

这样初速修正量为

$$\Delta X=f(C_D(M'),\theta_0,v_0+\Delta v)-f(C_D(M),\theta_0,v_0)。(1)$$

将式(1)展开:

$$\begin{aligned} \Delta X &= f(C_D(M'),\theta_0,v_0+\Delta v)-f(C_D(M),\theta_0,v_0)= \\ & \frac{\partial f}{\partial C_D} \Delta C_D + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial C_D^2} (\Delta C_D)^2 + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial C_D^3} (\Delta C_D)^3 + \\ & \dots + \frac{\partial f}{\partial \theta_0} \Delta \theta_0 + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial \theta_0^2} (\Delta \theta_0)^2 + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial \theta_0^3} (\Delta \theta_0)^3 + \\ & \dots + \frac{\partial f}{\partial v_0} \Delta v + \frac{1}{2!} \frac{\partial^2 f}{\partial v_0^2} (\Delta v)^2 + \frac{1}{3!} \frac{\partial^3 f}{\partial v_0^3} (\Delta v)^3 + \dots \end{aligned}$$

由于 ΔC_D 和 Δv 都是微小量,根据数学知识可知其高阶变化量较小,可以忽略,将上式简化:

$$\Delta X \approx \frac{\partial f}{\partial C_D} \Delta C_D + \dots + \frac{\partial f}{\partial \theta_0} \Delta \theta_0 + \dots + \frac{\partial f}{\partial v_0} \Delta v + \dots \quad (2)$$

而在计算初速变化修正量时射角不变，即 $\Delta \theta_0 = 0$ ，上式就进一步简化为：

$$\Delta X \approx \frac{\partial f}{\partial C_D} \Delta C_D + \dots + \frac{\partial f}{\partial v_0} \Delta v + \dots \quad (3)$$

这样：

$$\Delta X^+ = \frac{\partial f}{\partial C_D} \Delta C_D^+ + \frac{\partial f}{\partial v_0} \Delta v^+ ; \quad (4)$$

$$\Delta X^- = \frac{\partial f}{\partial C_D} \Delta C_D^- + \frac{\partial f}{\partial v_0} \Delta v^- \quad (5)$$

根据外弹道理论可知： ΔX^+ 和 ΔX^- 的符号相反，因此

$$\begin{aligned} |\Delta X^+| - |\Delta X^-| &= |\Delta X^+ + \Delta X^-| = \\ &= \frac{\partial f}{\partial C_D} (\Delta C_D^+ + \Delta C_D^-) + \dots + \frac{\partial f}{\partial v_0} (\Delta v^+ + \Delta v^-) + \dots \end{aligned}$$

由于在射表计算时取 $\Delta v^+ = -\Delta v^-$ ，这样：

$$|\Delta X^+| - |\Delta X^-| = \frac{\partial f}{\partial C_D} (\Delta C_D^+ + \Delta C_D^-) + \dots \quad (6)$$

众所周知，弹丸的阻力系数 C_D 值是一条随着马赫数变化的曲线，在超音速和亚音速变化是比较平稳的，而在跨音速变化比较剧烈。

那么，当 $\Delta v^+ = -\Delta v^-$ 时，阻力系数在正负 2 个方向的变化量 ΔC_D^+ 和 ΔC_D^- 是否数值相等、符号相反，即 $\Delta C_D^+ + \Delta C_D^- \approx 0$ 是否成立？如成立，初速正修正量 ΔX^+ 和负修正量 ΔX^- 的绝对值几乎相等；反之则反。

表 7、图 1 是某型迫榴炮杀伤爆破弹不同装药条件下，初速变化 ± 10 m/s 时阻力系数在正负 2 个方向的变化量。

表 7 不同装药初速变化 10 m/s 阻力系数在正负 2 个方向的变化量

| 装药号 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
|-------------------------------|----------|----------|----------|----------|---------|---------|
| C_D^+ | 0.372 1 | 0.408 5 | 0.187 4 | 0.140 8 | 0.140 0 | 0.140 0 |
| C_D^- | 0.386 4 | 0.385 8 | 0.168 8 | 0.140 0 | 0.140 0 | 0.140 0 |
| ΔC_D^+ | 0.014 3 | -0.022 7 | -0.018 6 | -0.000 8 | 0 | 0 |
| ΔC_D^- | -0.013 4 | 0.074 0 | 0.012 4 | 0 | 0 | 0 |
| $\Delta C_D^+ + \Delta C_D^-$ | 0.000 9 | 0.051 3 | 0.006 2 | 0.000 8 | 0 | 0 |

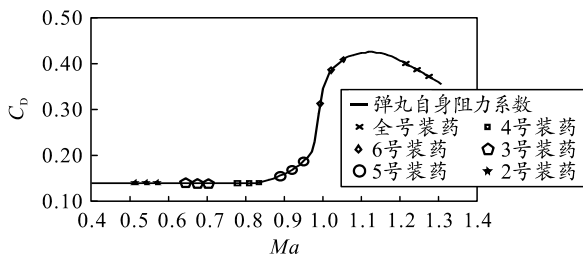


图 1 阻力系数在正负 2 个方向的变化量

从表 7 和图 1 可知：虽然初速变化在正负 2 个方向的变化值都为 10 m/s，但 7 号装药、2~4 号装药阻力系数的正偏差量 ΔC_D^+ 和负偏差量 ΔC_D^- 之差数值几乎相等，最大不超过 0.000 9，即可认为 $\Delta C_D^+ + \Delta C_D^- \approx 0$ ；但 6 和 5 号装药的阻力系数 ΔC_D^+ 和负偏差量 ΔC_D^- 之差都较大，分别为 0.051 3 和 0.006 2，即 $\Delta C_D^+ + \Delta C_D^- \neq 0$ 。因此，弹药初速处于超音速和亚音速段时，当 $\Delta v^+ = -\Delta v^-$ ， $\Delta C_D^+ \approx -\Delta C_D^-$ ；而弹药初速处于跨音速段，就会出现 $\Delta C_D^+ \neq -\Delta C_D^-$ ，两者存在较大差别的情况。这也是跨音速弹药初速正修正量和负修正量之差较大的原因。

阻力系数 C_D 是马赫数的函数，当 Ma 变化时， C_D 必然变化。而 $Ma=v/c$ ，其中： v 为弹丸相对空气

的飞行速度， c 为音速。

且：

$$v = \sqrt{(v_x - W_x)^2 + (v_y - W_y)^2 + (v_z - W_z)^2} ; \quad (7)$$

$$c = \sqrt{kRg\tau(y)} = \sqrt{41.1 \times 9.8 \times \tau(y)} \quad (8)$$

从马赫数的表达式中可以看出，影响马赫数变化的主要因素有：弹丸相对空气的飞行速度 v 、风速 W 和气温 $\tau(y)$ 。因此，初速变化、纵风和气温变化都会影响马赫数的变化，进而影响阻力系数的变化。

弹药初速在跨音速段时，由于弹丸阻力系数的剧烈变化呈现出非线性，初速变化、纵风和气温变化虽然在正负 2 个方向数值相同，但阻力系数正偏差量 ΔC_D^+ 和负偏差量 ΔC_D^- 存在较大差别。在这种情况下，射表修正量 ΔX 与正修正量 ΔX^+ 或负修正量 ΔX^- 间存在较大误差，这也是使用射表检验火控筒简易法精度时出现问题的原因。

4 结论

1) 初速、纵风和气温变化会引起马赫数的变化，而对于弹药速度处于跨音速时，由于阻力系数的剧烈变化，相同数值马赫数在正负 2 个方向变化引起的阻力系数变化相差较大；因此，初速、纵风

和气温射表射距离修正量与正修正量或负修正量间存在较大误差,会影响用射表检验火控简易法解算精度的结论;

2) 针对目前国军标射表修正量的计算方法,用射表检验火控简易法解算精度时,在初速、纵风和气温等单因素弹道条件变化时,建议先计算正、负 2 个偏差量的装定诸元,平均后再和用射表计算得到的装定诸元进行比较,以便更准确地评价火控解算精度。

参考文献:

[1] 闫章更, 祁载康. 射表技术[M]. 北京: 国防工业出版

社, 2000: 204-207.

[2] 郭锡福, 赵子华. 火控弹道模型理论及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1997: 347.

[3] 闫雪梅, 文艳, 武满宏, 等. 地榴榴弹射表编拟方法: GJB-7915-2012[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2012: 16-17, 36.

[4] 闫章更. 射表编拟技术[M]. 北京: 国防工业出版社, 2002: 38-39.

[5] 韩子鹏, 赵子华, 刘世平, 等. 弹箭外弹道学[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2008: 89.

[6] 米长伟, 毕建宏, 吴旭, 等. 机载灵巧弹药 MEMS 陀螺漂移的快速估计算法[J]. 兵工自动化, 2019, 38(3): 35-38.

(上接第 44 页)

4.3 应急管理兵棋推演实施

兵棋推演强调“以人为中心”,通过研究救援的动态演化过程以及不确定性和偶然性对救援结果的影响。在应急管理兵棋推演实施中,以参训人员作为推演回路的中心^[10]。参训人员通过推演人员席位,依托态势显示平台和指挥作业平台,接收和传达各种命令指示,驱动救援兵棋棋子进行救援活动。推演准备工作结束后,系统通过想定平台触发产生应急管理需求,指挥员席的参训者通过指挥作业平台接收到救援需求,在态势显示图上根据实际态势做出救援决策指挥,并将决策意图下达给救援分队,驱动救援兵棋棋子进行救援活动。兵棋棋子在接收到命令后,按照上级的决策命令进行救援力量编组,并依据兵棋规则选择最优预案向目标地机动。应急管理兵棋推演活动的实施如图 5。

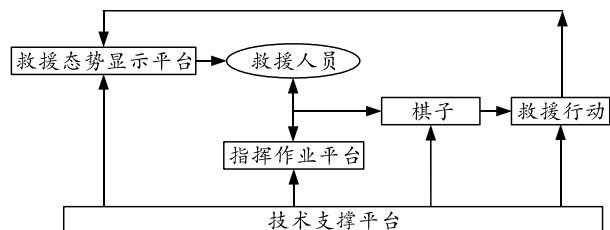


图 5 应急管理兵棋推演实施

5 结束语

将兵棋引入应急管理领域中,可以发挥其特长,补充我国原有救援研究与训练手段的不足,积极推动我国应急管理领域现有的救援研究和训练。近年

来,随着物联网、云计算、移动互联网、大数据和人工智能等新一代信息技术快速发展,兵棋推演在应急管理领域具有广阔的应用前景。

参考文献:

[1] 孙泽健, 司光亚. 面向兵棋演习的问答系统问句分类模型研究[J]. 计算机与数字工程, 2019, 47(2): 308-313, 319.

[2] 欧微, 李卫军. 基于深度学习的兵棋实体决策效果智能评估模型[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 32(4): 29-34.

[3] 刘海洋, 唐宇波, 胡晓峰. 基于兵棋推演的联合作战方案评估框架研究[J]. 系统仿真学报, 2018, 30(11): 4115-4122.

[4] 薛辉, 刘铁林. 基于混合 Bate 分布的兵棋推演可信度评估方法研究[J]. 军事运筹与系统工程, 2018, 32(2): 76-80.

[5] 胡晓峰, 罗批. 兵棋推演: 复杂系统管理的创新与实践[J]. 指挥控制与仿真, 2016, 38(6): 1-5.

[6] 林建超. 兵棋·兵圣·兵经——围棋与中国人的战略智慧[J]. 孙子研究, 2017(1): 41-45.

[7] 邓克波, 朱晶, 韩素颖. 面向作战方案分析的计算机兵棋推演系统[J]. 指挥信息系统与技术, 2016, 7(5): 73-77.

[8] 陈鹏. 我国应急管理存在的问题及对策分析[J]. 大连干部学刊, 2019(3): 46-51.

[9] 金卫健, 黄传峰, 田华. 应急管理关键因素的混合型识别方法研究[J]. 运筹与管理, 2019(2): 193-199.

[10] 王宏伟. 统筹协调—新时代应急管理的能力[J]. 中国安全生产, 2019(2): 22-27.