

doi: 10.7690/bgzdh.2023.11.004

1 维弹道修正弹的地面密集度指标考核方法

王 丽¹, 郭秋萍², 李艳飞³

(1. 沈阳工学院能源与水利学院, 辽宁 抚顺 113122; 2. 陆军装备部驻某地区军事代表室, 沈阳 110045;
3. 辽沈工业集团有限公司区域计量站, 沈阳 110045)

摘要: 针对国内没有 1 维弹道修正弹试验考核的国军标及其他相关标准的问题, 结合国内 2 型 1 维弹道修正弹研制经验, 借鉴常规弹药试验考核方法, 对 1 维弹道修正弹试验考核方法进行分析。结果表明: 该分析为今后 1 维乃至 2 维弹道修正弹试验考核提供了参考, 有助于弹道修正弹试验规程的编制与完善。

关键词: 1 维; 弹道修正; 地面密集度; 试验; 考核方法

中图分类号: TJ410 **文献标志码:** A

Analysis on Assessment Method of Ground-dispersion Index of 1D Trajectory Correction Projectile

Wang Li¹, Guo Qiuping², Li Yanfei³

(1. School of Energy and Water Resources, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;
2. Military Representative Office of Army Equipment Department in Certain Region, Shenyang 110045, China;
3. Regional Metering Station, Liaoshen Industries Group Co., Ltd., Shenyang 110045, China)

Abstract: Aim at the problem that there is no GJB and other relevant standards for the trial and assessment of 1D trajectory correction projectiles in China, the trial and assessment methods of 1D trajectory correction projectiles are analyzed in combination with the development experience of two domestic models 1D ballistic correction projectiles and with reference to the conventional ammunition trial and assessment methods. The results show that the analysis provides a reference for the trial and assessment of 1D and 2D trajectory correction projectiles in the future, and is helpful to the compilation and improvement of the trial regulations of trajectory correction projectiles.

Keywords: 1D; trajectory correction; ground-dispersion; trial; assessment method

0 引言

1 维弹道修正弹是一种以炮弹为载体, 兼具简易控制和导引功能的灵巧弹药。它利用炮弹的距离散布远大于方向散布的特点, 只对飞行弹丸进行纵向距离修正, 可大幅提高炮弹的纵向密集度, 提升命中精度。该弹在飞行中将攻击弹道与基准弹道进行比较, 计算出阻力环打开时间, 通过减小攻击弹道与基准弹道偏差的方式, 提高弹丸远程精确打击能力。1 维弹道修正原理简单, 技术难度及成本相对较低, 是目前国内外提高炮弹命中精度的主要技术途径之一。

20 世纪 90 年代, 国外在中大口径弹药平台上开展了 1 维弹道修正技术的研究。在弹道测量方式上主要有 2 种技术方案, 分别是弹上卫星接收机测量弹道参数和炮位雷达探测弹道参数^[1]。21 世纪初, 我国基于 1 维弹道技术, 先后进行了 2 个型号产品的弹道修正弹研制工作。目前, 1 维弹道修正弹的

技术指标暂时参照《榴弹定型试验规程》和《炮弹引信定型试验规程》等国军标相应条款进行考核, 如内弹道、弹体及零部件强度、战斗部装药发射安全性、战斗部威力、环境适应性、安全性等; 但是, 作为 1 维修正弹的最重要指标最大/最小射程地面密集度, 该弹却没有相应的标准或规程来指导试验考核^[2-3]。笔者结合以上 2 个型号产品的研制经验, 开展弹道修正弹地面密集度指标考核方法的分析工作^[4-6]。

1 地面密集度指标考核存在的问题

目前, 关于地面密集度指标考核的标准, 都无法通过一次地面密集度试验科学合理地考核 1 维弹道修正弹地面密集度指标^[7]。

1.1 标准未区分修正机构功能工作异常情况

弹药的地面密集度试验考核标准, 目前常规炮弹有《榴弹定型试验规程》和《炮弹引信定型试验

规程》；末敏弹有《末敏弹通用规范》，制导炮弹有《末制导炮弹通用规范》《末制导炮弹规范》和《卫星制导炮弹武器系统定型试验规程》^[8-9]。如果采用现行其他弹药的密集度指标考核方法，通常试验结果都不能满足指标要求。

例如当出现弹道修正功能异常的试验弹时，如果按照《榴弹定型试验规程》中地面密集度试验方法执行相应规程，将该发修正功能异常试验弹与正常试验弹放在一组试验中分析、统计，地面密集度试验结果会与指标要求差别较大。这是由于 1 维弹道修正弹地面密集度试验中，当所有修正机构都正常工作时，试验样本才具有总体的代表性，并且异常试验弹和正常试验弹是 2 种不同的样本，不应放在一起去进行代表总体的统计计算，不适合客观地评价 1 维弹道修正弹的地面密集度；所有样本都应在修正机构正常工作的前提条件下进行统计。如果照搬现行的试验标准，经常会出现地面密集度指标考核不合格的情况。

1.2 标准未与修正作用率指标联合进行考核

1 维弹道修正弹的地面密集度受修正机构工作稳定性的影响较大，而工作稳定性数值上由修正作用率来表示，修正作用率又受弹载接收机精度、北斗定位精度、弹载计算机解算精度、修正机构执行可靠性和制式平台可靠度等因素影响^[10-15]。

修正弹在地面密集度试验考核过程中，需将 1 维弹道修正弹的地面密集度指标与修正作用率指标联合进行考核。

2 地面密集度指标考核方案

2.1 确定地面密集度相关的 3 个指标

与 1 维弹道修正弹地面密集度相关的 3 个指标分别是：1) 地面密集度；2) 修正作用可靠度；3) 标准化射程。

地面密集度试验考核目标是通过一项地面密集度试验，将 3 个指标同时考核出来。

2.2 确定试验样本量及异常弹剔除标准

2.2.1 确定试验样本量

由于地面密集度试验选取的样本量，既要真实反映产品实际性能，又要考虑项目经费及试验周期，具有充分的总体代表性^[16]。国内目前 2 个型号 1 维弹道修正弹项目研制时，通过与军方沟通，样本量选取均按照《榴弹定型试验规程》规定执行：

1) 弹丸口径不大于 60 mm 时，分 3 组进行炮射试验，每组用弹量为 10 发；

2) 弹丸口径大于 60 mm 时，分 3 组进行炮射试验，每组用弹量为 7 发。

2.2.2 异常弹剔除标准

当出现异常弹，采用格拉布斯检验法处理。由于弹道修正功能发生异常时弹丸的落点都为近弹情况，因此使用格拉布斯检验法时仅计算以下情形：

$$G'_n = (\bar{x} - x_{(1)})/s; \quad (1)$$

$$s = \sqrt{\left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n-1) \right]}. \quad (2)$$

式中 \bar{x} 和 s 为样本均值和样本标准差。确定检验剔除水平 $\alpha=0.01$ ，判断试验样本是否为应剔除值。

剔除该发异常弹后，需要补试 1 发弹，保证 1 组弹的有效数据为 7 发(或 10 发)。由于 1 维弹道修正弹规定了修正作用可靠度指标，因此被剔除弹计入修正作用可靠度指标中，这区别于一般常规的榴弹定型试验标准。

2.3 考核方法

2.3.1 地面密集度

按照《榴弹定型试验规程》规定的 1 组试验的有效发数，计算射程地面密集度指标公式：

$$\left. \begin{aligned} \bar{X} &= \sum_{i=1}^n X_i / n \\ \bar{Z} &= \sum_{i=1}^n Z_i / n \\ E_x &= 0.6745 \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 / (n-1)} \\ E_z &= 0.6745 \sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2 / (n-1)} \end{aligned} \right\}; \quad (3)$$

$$S = E_x / \bar{X}. \quad (4)$$

式中： \bar{X} 、 \bar{Z} 为 1 组弹平均弹着点坐标值； X_i 为第 i 发弹着点距离坐标值； Z_i 为第 i 发弹着点方向坐标值； E_x 为距离中间误差； E_z 为方向中间误差； S 为纵向(距离)地面密集度。

需要说明的是，如果 1 组试验过程中出现异常弹，剔除异常弹，最多补试 2 发弹。

在制定出异常弹剔除规则并予以实施后，异常弹的剔除采用 2 种方法：1) 试验过程中实时识别、判断是否有异常弹，实时补试，以保证密集度数据完整；2) 每组比计划发射量多 1~2 发弹，以保证每组的有效发数，试验后再予以甄别和剔除。

在 1 维弹道修正弹研制过程中, 一般取 3 组平均值来判定, 而对于产品生产后的靶场交验, 则与研制阶段不同, 可按照具体产品的制造与验收规范执行即可。

2.3.2 修正作用可靠性指标

1) 研制阶段。

研制过程中, 地面密集度指标一般用 3 组试验的平均结果来衡量。此时, 修正作用可靠性指标通常用试验总发数中允许出现 1~2 发异常弹来直观表示, 全弹综合作用可靠度为 0.85。

例如, 弹丸口径大于 60 mm, 进行 3 组试验, 每组 7 发, 共 21 发试验弹, 只允许出现 3~6 发异常弹。

2) 产品靶场验收阶段。

产品靶场验收是成败型试验, 用二项分布公式评估可靠性, 采用数学上最优的极大似然估计方法, 其点估计公式为:

$$R = (n-r)/n \quad (5)$$

式中: R 为可靠度点估计值; n 为样本数; r 为失效数。

如某型弹每组有效发数为 7 发, 修正作用可靠度为 0.85, 则对修正作用可靠性指标的评判见表 1。

表 1 修正作用可靠性指标的判定

序号	样本数	失效数	可靠度	评定	备注
1	7	0	1.000	合格	
2	7	1	0.857	合格	
3	8	1	0.875	合格	

2.3.3 标准化射程指标

射程标准化计算方法采用《地炮榴弹射表编拟方法》中的方法, 具体为弹道落点符合算法。即符合对象为弹丸射击条件下的落点射程 X_c , 符合参数为弹丸的综合阻力符合系数 f_D 。计算步骤为: 利用弹道计算程序在试验条件下, 通过调整弹丸的综合阻力符合系数 f_D 使得计算的落点射距 X'_c 与试验测量值 X''_c 一致; 最后在标准弹道计算条件下, 利用调整后的 f_D 进行弹道计算, 得到的 X_c 即为弹丸的标准化射程。

3 试验论证

3.1 实物竞标采用的方法

国内某 1 维修正引信实物竞标时, 最大射程及地面密集度试验采用办法为: 每组试验射击正式弹 9 发, 取其中 7 发为有效数据, 进行最大射程及地面密集度计算。因为此产品竞标为方案阶段竞标,

对可靠性指标要求仅为每组 9 发弹中允许不超过 2 发(含 2 发)异常弹, 统计总的异常弹数做可靠度分值计算。

3.2 研制验证试验采用的方法

国内某 1 维弹道修正弹产品研制时, 对最大射程及地面密集度试验采用的办法是: 每组试验 7 发, 采用全弹道雷达跟踪方式辅助判断产品可靠度。对出现异常的产品, 借助雷达数据判断异常情况产生的原因, 若为引信故障, 则计入引信可靠度; 若为弹药平台故障, 则计入弹药系统可靠度; 若为发射平台或其他不可控因素故障, 则不计入可靠度统计, 重新补射; 对于无法查明原因的, 则用格拉布斯检验法, 检验剔除水平 $\alpha=0.01$, 若为反常结果, 直接剔除。每组取 7 发有效数据计算最大射程及地面密集度。

3.3 型号研制及产品靶场验收采用的方法

某型号 1 维弹道修正弹采用雷达探测弹道参数体制, 用炮位雷达跟踪弹丸出炮口后的一段弹道, 火控进行弹道解算, 然后通过雷达发送修正指令。在进行地面密集度试验时, 如果火控解算的无控弹落点小于修正的目标点, 说明该发无控弹(初速、底排或火箭)出现异常, 用备份弹补试 1 发, 继续试验; 如果雷达跟踪的弹道上没有阻力片张开的拐点, 说明该弹没有进行修正, 用备份弹补试 1 发, 继续试验; 如果跟踪雷达推算的落点离目标点较远, 也用备份弹补试 1 发, 继续试验。该方法不会影响地面密集度水平的分析和判定。

对异常弹, 可根据跟踪雷达数据、试验条件等进行具体的原因分析。用 7 发有效数据计算标准化射程和地面密集度, 用异常弹数量来评定修正作用可靠性指标。

4 结束语

笔者对 2 型 1 维弹道修正弹的地面密集度指标考核方法进行了分析。

1) 针对在研制过程中常出现地面密集度试验结果与指标要求差别较大的情况, 通过借鉴常规产品试验考核方法和格拉布斯检验法, 较好地解决了弹道修正功能异常对地面密集度的影响, 确定了地面密集度试验考核时异常弹的剔除标准。

2) 对 1 维弹道修正弹地面密集度考核方法进行了系统的归纳整理。