

新概念武器性能指标评定方法^{*}

杜太焦, 陈志华, 王建国

(西北核技术研究所, 西安 710024)

摘要:针对新概念武器鉴定定型试验前武器性能参数统计分布不能确定所带来的困难,提出了验前评定和验后评定相结合的指标评定方法.在验前评定中,不需要参数统计分布信息而直接采用成败模型的评定方法,从而可以为试验大纲中确定试验次数提供依据;在验后评定中,通过对数据具体统计特性的分析,可以得到高置信度的评定结论,从而为武器效能评估提供依据.

关键词:新概念武器; 鉴定试验; 指标评定

中图分类号: TP309

文献标识码: A

文章编号: 1006-0707(2009)05-0046-03

近年来,由于高新技术的不断发展,出现了许多新概念武器.这些武器先后经过项目论证、样机研制、技术验证试验后,逐渐走向武器的研制阶段.武器研制工作完成后,必需通过鉴定定型试验.在鉴定定型试验中,武器性能指标的评定是一项重要的内容,其目的是通过对指标的测量,来判断武器的性能是否满足研制总要求的规定,同时指标的评定结果也是武器作战效能评估的基础^[1-2].对于指标的评定,除了需要研制指标测量设备以获取测量数据以外,还需要对指标评定方法进行研究,其作用如下:为在试验前进行试验设计提供技术依据;为在试验后判断指标是否达标和指标达标的程度(接收概率和置信度)提供方法;为确定指标的具体数值提供方法.

相对于常规武器,新概念武器的指标评定存在两个方面的问题,一是新概念武器试验消耗一般较大,因此在试验设计时不可能象常规武器那样进行大样本量的试验;另外,新概念武器性能参数的统计分布在试验前一般是不知道的,虽然在技术验证试验阶段获取过一些数据,但这些数据一般是在武器处于不同技术状态下得到的.从以上对评定方法作用的介绍中可知,在试验前有一套系统的评定方法对在试验大纲中确定试验次数是必要的.同时为了对武器效能进行评估,还需要对武器的性能指标进行较高置信度的评定.为了解决以上矛盾,对于新概念武器的指标评定,我们提出验前评定和验后评定相结合的方法.在验前评定中,不需要指标统计分布信息,其目的是提供一套初步的评定方法进行试验设计,其结论的置信度可以选择得低一些以尽量减少试验次数;验后评定是在获得测量数据并得到数据统计分布信息后进行的,可以通过对数据具体统计特性的分析以提高评定结论的置信度,这种高置

信度的数据可作为武器作战效能评估的依据.

1 问题的提法

考虑武器某性能参数 P , 研制总要求对其的规定为 $P \geq P_0$ (P_0 为一特定值). 为了理解指标评定的含义, 下面先介绍几个概念.

首先, 我们需要把武器性能参数 P 看作是一个随机量. 由于各种因素的影响, 每次试验中 P 的测量结果是不一样的, 而且每次试验前也无法准确预知其准确测量值. 其次, 指标体系中提出的 $P \geq P_0$ 中的 P 指的是武器性能参数的总体, 即无数次试验的所有测量结果. 这里就引出一个问题, 既然武器性能参数 P 是一个随机量, 就需要对 $P \geq P_0$ 从概率意义上理解, 因此可以要求 $P \geq P_0$ 的概率接近 1, 即 $\text{Prob}\{P \geq P_0\} = q = 1 - \alpha$ ($\alpha \ll 1$).

以上提出了武器性能参数总体的概念, 但实际试验中不可能得到总体, 而只能进行有限次测量. 有限次测量得到的结果称为总体的样本, 试验评定的目的就是从样本推断出总体的信息. 由于样本是总体的一部分, 所以由样本推断出的总体信息是有误差的, 用来表征这一误差程度的量称为置信度, 置信度越高, 则误差越小, 也就是所推断出的结论越可靠. 决定置信度高低的因素之一就是样本容量, 即试验数据量.

根据以上介绍的概念可知, 为了完成对武器性能参数 P 的评定, 需要预先确定以下信息: 指标总体的分布; 指标接收概率 q ; 评定结论的置信度.

以上讨论用公式总结如下:

总体: P

* 收稿日期: 2009-02-26

作者简介: 杜太焦(1972-), 男, 山西襄汾人, 博士, 副研究员, 主要从事效能评估理论及方法研究.

指标: P_0

检验: $P > P_0$

样本: P_1, P_2, \dots, P_n

指标的含义:

$$\text{Prob}\{P > P_0\} = q \quad (1)$$

置信度的含义:

$$\text{Prob}\{\text{Prob}\{P > P_0\} = q\} \quad (2)$$

2 验前评定方法

通过前面的讨论可知,在鉴定试验前我们一般不知道总体 P 的统计分布特性,因而无法直接对其进行评定.为了解决这一问题,可以构造一个新的随机变量 X ,满足:

$$X = \begin{cases} 1 & P > P_0 \\ 0 & P < P_0 \end{cases} \quad (3)$$

则指标的含义式(1)可表达为 $\text{Prob}\{X = 1\} = q$,这样原来的问题转化为一个成败型数据的评定问题,该问题的可按 GB4087.3—85^[3]规定的方法来进行研究和计算,下面给出一些例子.

如果要求接收概率为0.9,不同置信度和不同失效次数 F 下的总试验次数计算结果见表1.

表1 接收概率 $q=0.9$,不同置信度和失效次数下总试验次数

失效次数	$=0.6$	$=0.7$	$=0.8$	$=0.9$
0	9	12	16	22
1	21	24	29	38

从表1的结果可以看出,在接收概率一定的情况下,总的试验次数随着置信度的增大和失效次数的增多而迅速增加.考虑到试验成本因素后,在鉴定试验前的评定方法设计中,一般应该选择较低的置信度和较少的失效次数.

如果要求置信度为0.7,失效次数为0,则不同接收概率情况下的总试验次数计算结果见表2.

表2 $q=0.7, F=0$,不同接收概率下总试验次数

接收概率	0.95	0.90	0.85	0.80	0.70
试验次数	24	12	8	6	4

从表2的结果可以看出,在置信度和失效次数一定的情况下,随着接收概率的增加,总的试验次数迅速增加,因此在鉴定试验前评定方法设计中,不能选择很高的接收概率.

综合以上讨论的结果,在武器性能 P 的验前评定方法中,选择以下评定准则和试验次数:

接收概率: 0.85

置信度: 0.7

评定准则: 小于指标的试验次数为0

试验次数: 8次

虽然在验前试验评定方法设计中选择了较低的接收概率和置信度,但是如果已经获取了数据,则通过验后的数据处理,有可能大大提高接收概率和置信度.

3 验后评定方法

验后评定可以提高置信度和接收概率的原因在于考虑了样本大于指标的程度.假设 $P_0 = 200$,样本 201 和 220 都大于 P_0 ,对成败型数据处理方法,这两者没有任何区别,但实际上 201 和 220 是有很区别的.为了考虑这种区别,需要知道总体的统计分布.虽然在试验前进行试验设计时我们不知道统计分布的具体信息,但在测量数据出来以后,我们是有可能通过对数据的分析获得统计分布信息的.实际中多数武器性能指标(或分解指标)是服从正态分布的,所以本文将正态分布为例探讨获得试验数据后的验后评定问题.

假设已经获得武器性能指标 P 的测量数据,为了进行验后评定,首先需要确定 P 是否服从正态分布,即需要对 P 进行正态性检验,具体检验方法可参照 GB/T 4882—2001^[4]来执行.如果正态性检验通过,则可以使用正态数据评定方法对试验数据进行验后评定.

3.1 不考虑置信度情况下正态数据的评定

假设有正态性数据样本 P_1, P_2, \dots, P_n ,我们要推断下式是否成立:

$$\text{Prob}\{P > P_0\} = q$$

评定方法如下^[5].首先定义 P_q ,它满足以下关系:

$$\text{Prob}\{P > P_q\} = q \quad (4)$$

然后计算样本的均值和标准差:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (5)$$

$$S_p = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad (6)$$

则可以求出 P_q :

$$P_q = \bar{P} - S_p \cdot t^{-1}(q) \quad (7)$$

式中:

$$t(x) = \frac{1}{\sqrt{2}} \int_{-\frac{x}{2}}^{\frac{x}{2}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt \quad (8)$$

求出 P_q 后,按下列准则来评定指标是否满足. $P_q < P_0$ 指标满足; $P_q > P_0$ 指标不满足.

作为一个例子,假设得到以下样本(见表3),在不考虑置信度的情况下计算其接收概率(指标为200).

表3 样本数据表

n	1	2	3	4	5	6
P_n	223.2	208.7	213.9	214.0	216.5	212.1
n	7	8	9	10	11	12
P_n	210.1	212.8	220.4	226.9	216.1	213.7

样本的均值和标准差分别为: $\bar{P} = 215.7$; $S_p = 5.4$.

则不同接收概率下 P_q 的点估计见表 4.

表 4 不同接收概率下 P_q 的点估计

q	0.99	0.98	0.95	0.90
P_q	203.3	204.7	206.9	208.8

从上表可以看出,对于表 3 给定的测量结果,武器性能参数 P 被接收概率应大于 0.99(0.998);而如果按成败型数据评定,则即使在很低的置信度(0.7)情况下,接收概率也才不到 0.90(见表 2).

3.2 考虑置信度情况下正态数据的评定

在考虑置信度的情况下,3.1 节中计算 P_q 的方法需要修正, P_q 将用不同置信度下的置信下限 $P_{q,c}$ 来代替,即:

$$P_{q,c} = \bar{P} - S_p \cdot K(\alpha, n, q) \quad (9)$$

其中可按 GB4885—85^[6]中规定的方法进行计算.

对于表 3 给定的样本数据,接收概率为 0.95,则不同置信度下 $P_{q,c}$ 的计算结果见表 5.从表中数据可以看出:指标被接收的概率为 0.95,置信度大于 0.95,相对于验前评定方法给出的接收概率(0.9)和置信度(0.7)有大幅度提高.

表 5 不同置信度下的 $P_{q,c}$ 估计值

	0.6	0.7	0.8	0.9	0.95
K	1.82	1.96	2.15	2.45	2.74
$P_{q,c}$	206.0	205.2	204.2	202.6	200.9

4 结论

本文中根据新概念武器鉴定试验的特点,探讨了新概

念武器性能指标的评定方法,该方法综合了验前评定和验后评定,其具体步骤如下:

1) 在试验前没有数据统计分布信息的情况下,用成败型数据模型的评定方法,在较低的接收概率和置信度要求下确定试验次数和评定要求.

2) 获得试验数据后,首先用验前规定的评定方法评定试验数据,得到初步的评定结论.

3) 对获得的数据进行常用统计分布的分布拟合检验,如果检验没有通过,则初步评定结论作为最终评定结论.

4) 如果某种统计分布的分布拟合检验通过,则使用该统计分布的数据评定方法重新对数据进行评定,以获得较高的接收概率和置信度.

参考文献:

- [1] 甄涛,王平均,张新民. 地地导弹武器作战效能评估方法[M]. 北京:国防工业出版社,2005.
- [2] 王玉恒,杜太焦,刘峰,等. 高能激光武器系统效能评估方法[J]. 四川兵工学报,2008,29(2):1-3.
- [3] GB 4087.3—85. 数据的统计处理和解释 - 二项分布可靠度单侧置信下限[S].
- [4] GB/T 4882—2001. 数据的统计处理和解释 - 正态性检验[S].
- [5] 唐雪梅,张金槐,邵凤昌,等. 武器装备小子样试验分析与评估[M]. 北京:国防工业出版社,2001.
- [6] GB4885—85. 正态分布完全样本可靠度单侧置信下限[S].

(上接第 45 页)

因 1#、2#、4# 的峰值应变分别为 4 250 μ 、2 209 μ 和 1 121 μ ,应力波速度分别为 11.3 m/s、8.5 m/s 和 5.7 m/s. 可以看出,当行波杆前端与爆炸容器外壁距离从 0.5 m 增加到 0.75 m 时,速度衰减较快,而从 0.75 m 增加到 1.25 m 时衰减程度明显减缓.初步分析认为,混凝土层内质点运动速度衰减具有非线性特征,近似指数衰减形式.

由于波形良好,符合理论响应规律,因此行波杆的设计参数也满足频响、测量上升时间、持续时间等测试要求,说明设计方法可行,测试系统配置正确.

5 结论

1) 根据一维弹性应力波理论对行波杆进行了设计,通过配置测量系统,在实验中获得了较好的应力波形;

2) 应用应变式压杆压力传感器测量系统,可研究抗爆混凝土层内部的动力学响应行为,为混凝土防护工程性能评估提供了一种有效的测试平台;

3) 应变式压杆压力传感器原理结构简单,性能易于控

制,适合测试境条件较差的爆炸动载环境或介质中,但在设计时应注意该种传感器的频响和量程主要受行波杆材质和直径的限制.

参考文献:

- [1] 张挺. 爆炸冲击波测量技术[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [2] 胡永乐,林俊德,金飞华. 应变式压杆压力传感器在冲击载荷测试中的应用[J]. 实验力学,2006(5):547-552.
- [3] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京:国防工业出版社,1985.
- [4] 王万鹏. 混凝土加固爆炸容器的计算机数值模拟[D]. 西安:西北工业大学,2004.
- [5] 王伯雄. 测试技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2003.
- [6] 朱明武,梁人杰. 动压测量[M]. 北京:国防工业出版社,1983.