

# 某型导弹靶试方案的风险与成本分析

李根成

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** **目的** 研究传统的二次抽样检验靶试方案和使用方推荐的一次抽样检验靶试方案中的使用方风险和生  
产方风险, 并计算使用方在接收导弹时采用不同靶试方案需承担的费用。**方法** 首先建立导弹自主飞行可靠  
度与单发杀伤概率之间的关系, 通过计算抽样检验中的接收概率得出使用方风险和生  
产方风险。通过计算  
不同可靠度下的接收概率及靶试费用得出使用方接收每发导弹平均分摊的靶试费用。**结果** 传统靶试方案中  
使用方风险和生  
产方风险相当, 而新靶试方案中生产方风险高出使用方风险较多, 且若采用新靶试方案,  
使用方每接收 1 发导弹需承担的靶试费用比传统靶试方案的费用高。**结论** 最后建议使用方仍沿用传统的二  
次抽样检验靶试方案。

**关键词:** 靶试; 抽样检验; 生产方风险; 使用方风险

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2018.04.018

**中图分类号:** TJ760.6

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2018)04-0091-04

## Risk and Cost Analysis of Firing Test Program for A missile

LI Gen-cheng

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**ABSTRACT: Objective** To study consumer's risk and producer's risk in the traditional twice sampling inspection firing test program and the new single sampling inspection firing test program recommended by the consumer, and calculate the expense difference between the two firing test programs when the missiles are accepted by the consumer. **Methods** The relation between the missile's self-flying reliability and the single killing probability was established firstly, then the consumer's risk and producer's risk were acquired through calculating the acceptance probability in the sampling inspection. The expense allocated to each missile afforded by the consumer using the different firing test program was acquired through calculating the acceptance probability with the different reliability and the firing test cost. **Results** The producer's risk was approximately equal to the consumer's risk in the traditional firing test program, but the producer's risk was much higher than the consumer's risk in the new firing test program, and the allocated expense on a missile afforded by the consumer using the new firing test program was higher than that when using the traditional firing test program. **Conclusion** Finally, it is suggested to adopt the traditional twice sampling inspection program.

**KEY WORDS:** firing test; sampling inspection; producer's risk; consumer's risk

为满足人们对导弹功能性能要求的不断提高, 大量新技术、新研件、新材料、新工艺广泛应用, 导弹的组成也日趋复杂, 随之而来的可靠性等问题日渐突出<sup>[1]</sup>。因此在设计定型时对产品首先进行性能功能试

验、环境鉴定试验、可靠性鉴定试验、电磁兼容性试验等靶场外试验, 通过之后再进场开展靶场试验, 以全面检验导弹的专用质量特性和可靠性等通用质量特性是否达到设计要求。设计定型后生产的导弹在交

付部队前要进行环境例行试验和靶场实弹靶试,以检验生产工艺水平和质量控制的稳定性<sup>[2]</sup>。

某型导弹顺利通过设计定型阶段的各项地面试验和空中试验考核后进入试生产阶段,借鉴类似型号批产经验,为保证待交付导弹质量,生产方提出了“环境应力筛选+环境例行试验+批检靶试”的检验交付模式。即对每发产品进行环境应力筛选,筛选合格的导弹才能提交给军代表进行检验。待军检合格的导弹达到一定数量后,军代表从中抽取产品进行环境例行试验。由于经受环境例行试验后导弹的寿命消耗较多,所以通常不能再交付部队使用。之后,军代表从通过环境例行试验的批产品中抽样进行空中批检靶试。该型导弹拟沿用传统的二次抽样批检靶试方案,即从通过环境例行试验的每批产品(每批产品150发)中抽取6发导弹用于批检靶试,每3发导弹为1组,首先进行第1组导弹的靶试,视情再确定是否进行第2组导弹的靶试。根据靶试结果确定是否接收或拒收本批导弹。

1) 若第1组导弹靶试时3发全成功,则通过靶试,靶试结果记为(3:0)。这种情况下使用方接收本批产品中剩余的147发导弹。

2) 若第1组导弹靶试时失败2发,则判定本批产品未通过靶试。这种情况下使用方拒收本批导弹。

3) 若第1组导弹靶试时失败1发,则进行第2组导弹的靶试。

4) 若第2组导弹靶试时3发全成功,则通过靶试,靶试结果记为(3:0|3:1)。这种情况下使用方接收本批产品中剩余的144发导弹。

5) 若第2组导弹靶试时3发没有全成功,则判定本批产品未通过靶试。这种情况下使用方拒收本批导弹。

在讨论批检靶试方案时,驻厂军代表建议采用如下新的一次抽样批检靶试方案:每180发导弹组成1批,从中抽取6发导弹进行批检靶试,当6发导弹全成功或至多有1发失败时接收剩余174发导弹,否则拒收整批导弹。

文中依据产品研制总要求中规定的单发杀伤概率和自主飞行可靠度,对两种靶试方案的风险进行分析,并计算批检靶试成本,从而为靶试方案的选择提供参考。

## 1 抽样检验中的风险及接收概率

### 1.1 生产方风险和使用方风险

在生产高度发达的今天,抽样检验势在必行。理想的抽样检验方案是,不把不合格品误当作合格品接收,同时也不把合格品错当作不合格品拒收。对于成

败型产品即先规定一个允许的不合格品率 $\bar{p}$ ,当产品的不合格品率 $p \leq \bar{p}$ 时,接收概率为1;当产品的不合格品率 $p > \bar{p}$ 时,接收概率为0。理想的抽样特性曲线如图1所示<sup>[3]</sup>。

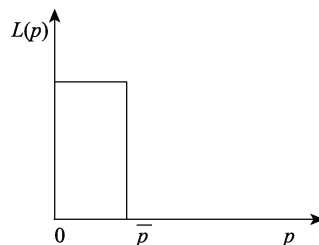


图1 理想的抽样特性曲线

由于抽样的随机性,理想抽样方案并不存在。通常可能会犯以下两类错误。

1) 将合格品误判为不合格品而予以拒收,犯这类错误的概率为生产方风险,一般用 $\alpha$ 表。

2) 将不合格品误判为合格品而予以接收,犯这类错误的概率为使用方风险,一般用 $\beta$ 表示<sup>[4]</sup>。

实际工作中常常是生产方和使用方共同协商,确定两个不合格品率值: $p_0$ (小于 $\bar{p}$ )、 $p_1$ (大于 $\bar{p}$ ),并根据双方所能承受的检验风险、试验成本等确定抽样检验方案。当产品不合格品率 $p \leq p_0$ 时,以高概率接收整批产品,记 $L(p)$ 为接收概率,即要求 $p \leq p_0$ 时, $L(p) \geq 1 - \alpha$ , $L(p_0) = 1 - \alpha$ ;当产品不合格品率 $p \geq p_1$ 时,以低概率接收整批产品,即要求 $p \geq p_1$ 时, $L(p) \leq \beta$ , $L(p_1) = \beta$ 。这样,由方程组(1)就可确定抽样检验方案,其抽样特性曲线如图2所示<sup>[5-7]</sup>。

$$\begin{cases} L(p_0) = 1 - \alpha \\ L(p_1) = \beta \end{cases} \quad (1)$$

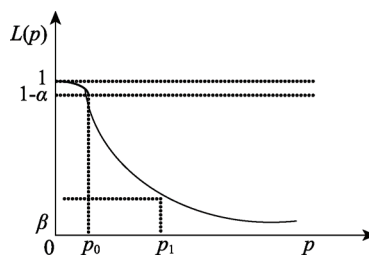


图2 典型的抽样特性曲线

### 1.2 接收概率

设产品批量为 $N$ ,批中不合格品数为 $D$ ,抽样检验样本量为 $n$ ,则抽取的样本中有 $r$ 个不合格品的概率可由超几何分布公式求得<sup>[8]</sup>:

$$P(r | N, D, n) = \frac{\binom{D}{r} \binom{N-D}{n-r}}{\binom{N}{n}} \quad (2)$$

$$\text{式中: } \binom{D}{r} = \frac{D!}{r! \times (D-r)!}$$

当批量  $N$  相对于样本量  $n$  很大时(工程上一般要求  $N/n \geq 10$ ), 式(2)可用二项分布公式近似<sup>[1,3,9-10]</sup>:

$$P(n, r | p) = \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \quad (3)$$

文中无论是传统靶试方案中的每 150 发抽 6 发或是新方案中的每 180 发抽 6 发,  $N/n \geq 10$  都成立, 故以下用式(3)讨论靶试方案。

假设计数一次抽样检验方案为  $(n, c)$ , 即若抽取的  $n$  个样本中的不合格品数不大于  $c$  时, 认为整批产品合格; 若抽取的  $n$  个样本中的不合格品数大于  $c$  时, 认为整批产品不合格。不合格品率为  $p$  的产品通过方案  $(n, c)$  的概率为<sup>[5,8,10]</sup>:

$$L(p) = \sum_{r=0}^c P(n, r | p) = \sum_{r=0}^c \binom{n}{r} (1-p)^{n-r} p^r \quad (4)$$

## 2 靶试方案的风险分析

该型导弹研制总要求中明确规定: “自主飞行可靠度规定值为 0.88, 最低可接受值为 0.68; 单发杀伤概率为 0.78”。单发杀伤概率是导弹自主飞行可靠度、制导精度、引战配合概率、战斗部毁伤概率的函数。通常导弹自主飞行可靠度是结合靶试中单发杀伤概率进行考核的。导弹的制导精度、引战配合概率、毁伤概率是通过仿真得出的<sup>[2,9-10]</sup>。

研制总要求中的单发杀伤概率与自主飞行可靠度的规定值对应, 即 0.88 的自主飞行可靠度对应的单发杀伤概率为 0.78, 则 0.68 的自主飞行可靠度对应的单发杀伤概率为 0.6027。故下文将以  $p_1 = 0.3973$ ,  $p_0 = 0.22$  来分析靶试中的风险。

### 2.1 传统靶试方案中的风险分析

若以  $(3:0)$  通过批检靶试, 由式(3)可知, 不合格品率为  $p_1 = 0.3973$  时, 出现这种情况的概率为:

$$P(3, 0 | p_1) = \binom{3}{0} (1-0.3973)^{3-0} \times 0.3973^0 = 0.2189$$

不合格品率为  $p_0 = 0.22$  时, 出现这种情况的概率为:

$$P(3, 0 | p_0) = \binom{3}{0} (1-0.22)^{3-0} \times 0.22^0 = 0.4746$$

若以  $(3:0|3:1)$  通过批检靶试, 由式(3)可知:

$$P((3:0|3:1) | p_1) =$$

$$\left[ \binom{3}{1} (1-0.3973)^{3-1} \times 0.3973^1 \right] \times \left[ \binom{3}{0} (1-0.3973)^{3-0} \times 0.3973^0 \right] = 0.0948$$

$$P((3:0|3:1) | p_0) =$$

$$\left[ \binom{3}{1} (1-0.22)^{3-1} \times 0.22^1 \right] \times \left[ \binom{3}{0} (1-0.22)^{3-0} \times 0.22^0 \right] = 0.1906$$

导弹通过传统靶试方案的结果有两种:  $(3:0)$  通过或  $(3:0|3:1)$  通过。因此其通过概率为:

$$L(p_1) = P(3:0 | p_1) + P((3:0|3:1) | p_1) = 0.3137$$

$$L(p_0) = P(3:0 | p_0) + P((3:0|3:1) | p_0) = 0.6652$$

由式(1)可知, 传统靶试方案中, 使用方风险  $\beta = L(p_1) = 0.3137$ ; 生产方风险  $\alpha = 1 - L(p_0) = 0.3348$ 。

### 2.2 新靶试方案的风险分析

新靶试方案是一次抽样检验方案, 可用式(4)直接计算通过概率, 即:

$$L(p_1) = \sum_{r=0}^c P(n, r | p_1) = \sum_{r=0}^1 \binom{6}{r} (1-0.3973)^{6-r} \times$$

$$0.3973^r = 0.2375$$

$$L(p_0) = \sum_{r=0}^c P(n, r | p_0) = \sum_{r=0}^1 \binom{6}{r} (1-0.22)^{6-r} \times$$

$$0.22^r = 0.6063$$

由式(1)可知, 新批检靶试方案中, 使用方风险为 0.2375, 生产方风险为  $1 - 0.6063 = 0.3937$ 。

## 3 靶试方案的成本分析

假设每发射 1 发导弹约需要耗费 188 万元, 该费用主要含消耗掉的导弹、靶机, 以及试验场地、测试和保障设备的使用费等。当靶试成功时, 使用方需承担靶试消耗的费用。以下分析靶试成功时使用方在不同靶试方案中所需承担的靶试费用。

### 3.1 传统靶试方案

如前所述, 若抽取的第 1 组中的 3 发导弹试验全成功, 则剩余的 147 发产品全交付; 若抽取的第 1 组中的 3 发导弹中有 1 发试验故障, 第 2 组中 3 发导弹全成功, 则将所余的 144 发产品交付部队。

如果靶试是以  $(3:0)$  通过, 则交付 147 发产品的靶试成本为 564 万元, 平均交付 1 发产品的靶试费用为 3.8367 万元。如果靶试以  $(3:0|3:1)$  通过, 则交付 144 发产品的靶试成本为 1128 万元, 平均交付 1 发产品的靶试费用为 7.8333 万元。

质量不同的产品通过靶试检验的概率也不同。为便于比较, 文中取产品的单发杀伤概率分别为: 0.6027, 0.78, 0.6914 (介于 0.6027 与 0.78 之间), 它们分别对应的不合格品率  $p$  为 0.3973, 0.22, 0.3086。由 2.1 节计算可知,  $p$  为 0.3973, 0.22 时,

以(3:0)通过检验的概率分别为:0.2189, 0.4746,  $p$ 为0.3086时,以(3:0)通过检验的概率为:

$$\binom{3}{0}(1-0.3086)^{3-0} \times 0.3086^0 = 0.3305$$

同样由2.1节计算可知, $p$ 为0.3973, 0.22时,以(3:0|3:1)通过检验的概率分别为:0.0948, 0.1906,  $p$ 为0.3086时,以(3:0|3:1)通过的概率为:

$$P((3:0|3:1)|p) =$$

$$\left[ \binom{3}{1}(1-0.3086)^{3-1} \times 0.3086^1 \right] \times \left[ \binom{3}{0}(1-0.3086)^{3-0} \times 0.3086^0 \right] = 0.1463$$

若本批导弹单发杀伤概率为0.6027,则通过靶试检验的概率为0.3137,使用方接收的导弹中平均每发导弹分摊的靶试费用为5.0445万元。

若本批导弹单发杀伤概率为0.78,则通过靶试检验的概率为0.6652,使用方接收的导弹中平均每发导弹分摊的靶试费用为4.9818万元;

若本批导弹单发杀伤概率为0.6914,则通过靶试检验的概率为0.4768,使用方接收的导弹中平均每发导弹分摊的靶试费用为5.0630万元。

### 3.2 新靶试方案

如前所述,若抽取6发导弹试验全成功,或至多有1发失败,则使用方接收剩余的174发导弹。平均每交付1发产品花费的靶试费用为6.4828万元。该费用不随批不合格品率 $p$ 的大小而变化,因为是一次抽样检验,无论批不合格品率 $p$ 是多少,都要进行6发导弹的靶试。传统靶试方案是二次抽样检验,导弹是以(3:0)或是(3:0|3:1)通过批检靶试与批产品的不合格品率 $p$ 相关。

## 4 结语

从上述分析可以看出:新靶试方案中双方风险的差别比传统靶试方案中双方风险的差别较大,违背了使用方和生产方事先约定的双方风险相差尽量小的原则。

相对于传统靶试方案来说,新靶试方案中,使用方接收的导弹中平均每发导弹分摊的靶试费用多出约1.4万元。鉴于每年交付数百发产品,靶试费用需计入采购成本,且国内其他空空导弹在生产阶段批检靶试中多采用传统的二次抽样试验方案。经与使用方代表充分沟通,最终仍沿用传统的批检靶试方案。

### 参考文献:

- [1] 樊会涛,吕长起,林忠贤.空空导弹系统总体设计[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [2] 樊会涛,杨晨,周颐,等.空空导弹系统试验和鉴定[M].北京:国防工业出版社,2005.
- [3] 姜同敏.可靠性与寿命试验[M].北京:国防工业出版社,2012.
- [4] 高社生,张玲霞.可靠性理论与工程应用[M].北京:国防工业出版社,2002:219-223.
- [5] 李根成,姜同敏.成败型产品一次抽样检验方案研究[J].国防技术基础,2008(2):22-24.
- [6] 李根成,姜同敏.某军用安全阀抽检方案的可靠性研究[J].系统工程,2005(增刊II):200-201.
- [7] 沈保清.空空导弹可靠性抽检的风险[J].航空兵器,1993(4):7-10.
- [8] GJB 376,火工品可靠性评估方法[S].
- [9] 李根成.空空导弹可靠性试验技术研究[D].北京:北京航空航天大学,2007.
- [10] 李根成,李明强.某型导弹鉴定靶试方案的可靠性分析[J].战术导弹技术,2002(2):30-33.