

doi: 10.7690/bgzdh.2021.01.021

弹药装备在役考核安全风险探析

庄金良, 高欣宝, 武洪文

(陆军工程大学石家庄校区, 石家庄 050003)

摘要: 针对制约弹药类装备在役考核的安全问题, 综合运用各种防护手段进行研究。重点针对弹药装备在役考核专项试验, 梳理弹药在役考核的内容和特点, 分析弹药在役考核专项试验各阶段中存在的安全隐患和风险, 并提出相关分析方法和相应的对策。该研究可为确保弹药装备在役考核工作的安全性提供参考。

关键词: 在役考核; 安全风险; 弹药; 装备试验

中图分类号: TJ410.1 **文献标志码:** A

Analysis on Safety Risks of Ammunition Equipment in Service Assessment

Zhuang Jinliang, Gao Xinbao, Wu Hongwen

(Shijiazhuang Campus of PLA University of Army Engineering, Shijiazhuang 050003, China)

Abstract: The safety problem is the key to restrict the in-service assessment of ammunition equipment, and it is also the basic work for the in-service assessment of ammunition equipment. This paper focuses on the special test of in-service assessment of ammunition equipment, describes the contents and characteristics of in-service assessment of ammunition, analyzes the potential safety hazards and risks in each stage of the special test of in-service assessment of ammunition, and puts forward relevant analysis methods and corresponding countermeasures, so as to provide reference for ensuring the safety of in-service assessment of ammunition equipment.

Keywords: in service assessment; safety risk; ammunition; equipment test

0 引言

随着我军科学技术的快速发展和军事改革的稳步推进, 对军事装备实用性能提出了更高的要求。为准确掌握我军武器装备在使用中存在的问题, 提高武器装备的适用性, 我军近年来对已列装武器装备有序开展了在役考核试验。作为武器装备体系中的一个重要组成部分, 弹药装备在役考核也是武器装备在役考核的重要一环。通过弹药在役考核, 可以全面掌握参试弹药在配用部队的使用情况, 找出参试弹药在实际使用中存在的问题缺陷, 进而为参试弹药改进升级提供意见建议, 为参试弹药更好在部队服役提供保障。

1 弹药装备在役考核特点分析

不同于以往的考核, 在役考核的本质是试验, 主要目的是通过搜集整理武器装备在部队服役过程中存在的问题缺陷, 并将其反馈给生产厂家, 使武器装备改进升级^[1]。

1.1 弹药装备在役考核主要考核方式

基于在役考核的目的, 弹药装备在役考核主要

考核方法为座谈交流、问卷调查、现场查验、专项试验和计算机仿真等方法。在试验开展前期, 主要采用座谈交流和问卷调查的方法了解参试弹药在部队的服役状况, 初步掌握弹药服役中存在的常见问题; 试验后期则采用现场查验和专项试验的方式进行考核; 对于某些数据采集相对较少, 不能很好说明该试验或该试验安全问题突出, 如弹药运输、毁伤效果、弹药跌落等方面的试验, 须提前进行计算机仿真, 然后进行试验验证。通过各种考核方法的正确运用, 确认考核弹药在参试部队的服役状况, 解决部分制约参试部队保障能力发挥的问题。

1.2 弹药装备在役考核主要内容

根据弹药装备在配用部队的使用情况, 在役考核将考核部队弹药从请领、运输、储存管理、使用到销毁全过程的内容, 结合在役考核指导性文件、试验要求和参试弹药自身特点, 确定在役考核试验内容^[2-3]。其具体考核内容指标体系如图 1 所示。

1.3 弹药装备在役考核阶段划分

根据弹药类装备在役考核的特点、部队实际情况和专家指导意见, 遵循系统性、科学性的原则,

收稿日期: 2020-09-04; 修回日期: 2020-10-16

作者简介: 庄金良(1986—), 男, 河南人, 硕士, 从事弹药装备在役考核研究。E-mail: 393858020@qq.com。

将弹药在役考核试验分为在役考核试验需求筹划、在役考核试验规划设计、在役考核试验组织实施、在役考核评估总结、在役考核问题反馈与处理 5 个阶段^[4-5]。具体阶段划分如表 1 所示。

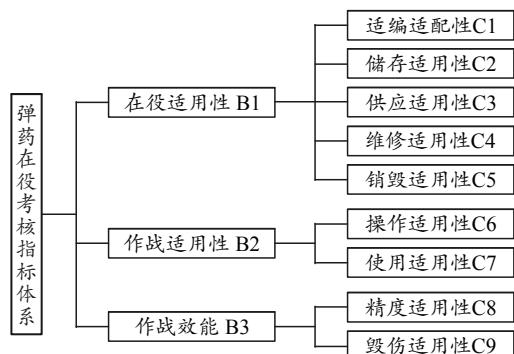


图 1 弹药在役考核指标体系

表 1 在役考核试验阶段划分

试验阶段	工作任务
筹划试验需求	组建在役考核试验组织 收集试验相关资料 确定试验所需资源 协调试验存在的问题
试验规划设计	制定在役考核方案 确定在役考核试验方法、指标及样本量 制定在役考核大纲 试验进度的协调与确定 制定在役考核专项实施方案
专项试验组织实施	构建试验环境和条件 弹药的请领、运输、储存、射击、维修、 销毁作业专项试验 试验数据采集
评估总结	处理试验数据 试验评估总结 编写试验报告
问题的反馈与处理	向实验监管单位汇总试验总结 反馈到弹药生产工厂改进升级

2 弹药装备安全特点分析

相对于其他武器装备，弹药自身具有爆燃的可能性，在安全标准要求方面高于其他武器装备。

2.1 弹药作业过程标准规范

由于弹药装备具有爆燃的可能，违规操作可能会带来严重的后果，所以在役考核试验时，要求弹药操作人员需要经过专业的培训或在专业人员的指导下，严格按照操作规程进行搬运、装载、运输、保管、检查和使用等作业，否则可能发生事故。

2.2 在役考核各阶段安全标准不同

弹药是一种以长期储存、一次消耗为主的战略物资，具有静态存储、动态供训的特点。在役考核时，要从弹药服役全过程考虑弹药安全。静态存储时，主要考虑弹药堆垛、保管条件、消防、防雷和

安防设施是否符合安全管理规定；动态请领、供应时，主要考虑弹药的装卸载、账物相符、运输和押运等问题是否满足安全需要；实弹射击时，则重点考虑弹药跌落、不发火、不爆炸和陪试武器平台操作性等是否满足安全需要。弹药在不同状态的安全隐患呈现出不同的特点。

2.3 试验数据安全采集、评估难度大

不同于其他单型装备，弹药装备在役考核时需要考核某型武器平台配备的所有弹种、弹型。在数据采集时，要采集这些弹药在参试部队的请领、储存、使用和销毁等环节的数据。这些数据具有弹型差异大、采集环节多、分布地点分散等特点。同时，不同的弹种，由于配用兵种、作战任务、使用环境不同，要求的毁伤效果和评估标准也不相同，所以，实弹射击考核时的安全要求、评估方法和评估结果差异较大。

3 在役考核安全风险方法标准分析

为了确保在役考核的安全，准确掌握各种可能发生的安全风险，建立安全风险标准，为后续的工作提供安全保障，需要进行弹药安全风险分析。

3.1 安全风险等级评估方法选取

目前，关于安全风险标准，不同的行业有不同的评判方法与使用标准，国际上部分行业、机构常用的是基于最低合理可行准则 (as low as reasonably practicable, ALARP)^[6-8]。其结构如图 2 所示。

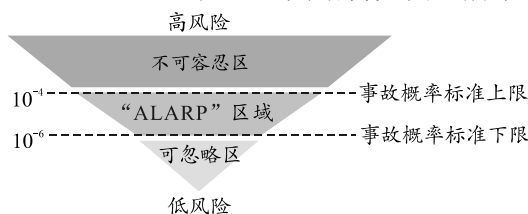


图 2 基于“ALARP”准则的安全风险评估准则结构

“ALARP”是一种定量评估方法，将风险评估标准划分为上、下限以及上下限之间的“ALARP”区域 3 个部分。如图 2 所示，事故概率的上、下限为 10^{-4} 、 10^{-6} ，当某类事故概率的数量级大于 10^{-4} 时，则安全风险落入“不可容忍区”，此时应不惜一切代价，采取必要的安防措施来降低事故概率；当事故的概率落入 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ 时，则事故安全风险概率落入“ALARP”区域，此时应根据被评估单位具体情况的风险决策；当事故概率小于 10^{-6} 时，可忽略此类安全风险隐患。基于“ALARP”准则，国外部分机构、行业制定的事故概率评估标准如表 2

所示。

表 2 国外部分机构、行业事故概率评估标准

行业机构	适用范围	事故概率 标准上限
国际民用航空组织 (ICAO)	航空器失效	10^{-5}
英国健康与执行委员会 (HSE)	重要工种工人年死亡	10^{-3}
美国联邦航空管理局 (FAA)	灾难性事故	10^{-9}
法国航空工业 (FAI)	重大危险事故	10^{-7}
挪威	自然灾害造成的死亡风险	2×10^{-6}
美国	自然灾害造成的死亡风险	5×10^{-6}
荷兰	新建工厂	10^{-6}
⋮	⋮	⋮
澳大利亚	新建工厂	10^{-5}
国际大坝会议	大坝高坝泄洪	10^{-6}

我军未明确弹药类装备安全风险评估标准，但在 GJB/Z171—2013《武器装备研制项目风险管理指南》中^[9]，关于武器装备试验安全风险评估分析部分给出了一种分析武器装备研制试验过程中事故发生的分析方法，具体分析事故发生的可能性、危害性和评价标准分析过程如下。

1) 事故发生的可能性。安全风险发生的可能性可由相关专家分析研究确定。如表 3 所示，通常情况下，将安全风险发生的等级分为 5 级。

表 3 安全风险发生可能等级标准

可能性等级 P	可能性	概率
5	极有可能发生	0.8 以上
4	很有可能发生	>0.6~0.8
3	可能发生	>0.4~0.6
2	不大可能发生	>0.2~0.4
1	几乎不可能发生	0~0.2

2) 事故发生的危害性。不同的风险源在不同情况下发生事故后，后果影响的严重性等级不同。如表 4 所示，在确定安全风险后果严重性等级划分标准时，可将安全风险后果分为 5 级。

表 4 事故后果危害评分标准

等级 C	5	4	3	2	1
后果严重性	特别严重	很严重	中等严重	轻度严重	不严重

4) 事故评价标准。根据事故发生的可能性和危害性，将事故后果危害评分标准划分如下：

- ① 当指数 $20 \leq R$ 时为很高风险，不能进行试验，必须采取安全应对措施；
- ② 当指数 $16 \leq R < 20$ 时为高风险，不能进行试验，必须反复分析安全隐患和考虑备选措施；
- ③ 当指数 $12 \leq R < 16$ 时为中等风险，不能进行试验，需控制和监督安全风险，寻求更优的方法、途径；
- ④ 当指数 $8 \leq R < 12$ 时为低风险，经专家评审满足后或经过方法途径改进可进行试验；

⑤ 当指数 $R < 8$ 时为很低风险，可以正常进行试验。

基于弹药事故发生的概率和后果危害性都难以量化，且弹药装备具有爆炸特性，须采取“最大风险”原则进行分析。安全风险分析过程中所得数据的数量级比较大且难以准确量化，不适合采用“ALARP”准则，故笔者采用了 GJB/Z171—2013《武器装备研制项目风险管理指南》中给出的安全风险评估方法。

3.2 试验安全风险等级标准分析过程

采取 GJB/Z171—2013《武器装备研制项目风险管理指南》中给出的安全风险分析时，具体分析步骤如下：

1) 在数据处理方面。首先分析弹药可能存在的安全风险因素，由弹药方面专家或技术人员对存在的每一项安全风险因素发生的概率、事故危害程度进行不记名打分；然后，采用加权平均法对专家或专业技术人员的打分进行处理。其标准指标的评价得分公式为：

$$y_i = (f_1 + f_2 + \dots + f_n) / n. \quad (1)$$

2) 在安全风险评分方面。由于安全风险等级是安全风险事件概率与安全风险事件后果之间的某种函数形式^[10]，其一般数学表达可以描述为：

$$R = f(P, C). \quad (2)$$

利用上式对安全风险等级和后果进行计算，所得结果即为安全风险隐患评分值。

3) 安全风险接受标准方面。经院校专家、学者研究，由于弹药分析采用“最大风险”原则进行分析，已经扩大了事故发生的可能性和危险性的分析数据，此处可采用 GJB/Z171—2013《武器装备研制项目风险管理指南》关于武器装备试验安全风险评估分析部分的安全标准划分。

4 弹药在役考核安全风险分析与防范对策

结合弹药特点，分析安全风险，制定防范对策，才能更好地预防弹药事故的发生。

4.1 弹药在役考核安全风险分析构架

弹药在役考核安全风险分析采用了“最大风险”原则，其具体内容构架如图 3 所示。

对弹药在役考核安全风险进行分析时，要尽可能考虑弹药事故发生的可能性和弹药事故的危害性。在可能性分析时，不仅从单项安全风险隐患逐项进行分析，而且要从综合的角度分析弹药事故发

生的可能性；在危害性分析时，要对事故造成的人员伤亡和经济损失做最大考量^[6]。

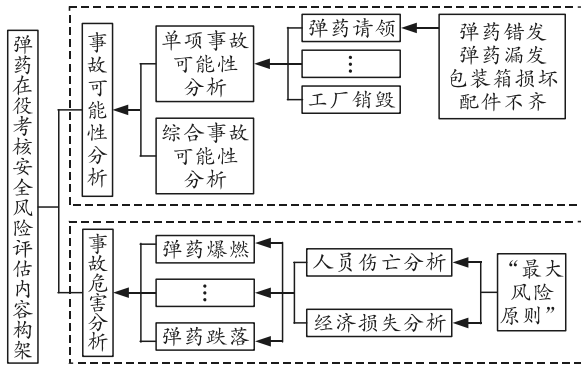


图 3 弹药在役考核安全风险评估内容构架

4.2 安全风险分析过程

所有分析都要由实施层去执行,对于在役考核,则由武器装备使用部队去执行。在该试验中,参试部队可在院校专家组的指导下,结合本单位实际情况和弹药装备特点逐项对弹药安全风险进行分析,找出相应对策。对于本单位难以分析解决的问题,可采取专家打分法或 Delphi 法,利用专家的经验、智慧来预测和解答问题,专家则利用自己的丰富信息和经验,抽象、综合、推理后得出自己的见解。

4.3 试验各阶段中的安全风险及对策

针对试验存在的安全问题,根据 4M1E 分析理论对安全风险因素进行筛选^[11-12],确定专项试验阶段可能存在的部分常见安全风险隐患分析如表 4。

表 4 试验中部分常见的安全风险及对策

作业过程	风险因素假设	
A 弹药请领	A11: 弹药错发、漏发 A21: 包装箱损坏、零箱 A31: ...	A12: 落实“三清、四点” A22: 拆箱单独检查 A32: ...
B 弹药装卸	B11: 碰撞、摔箱 B21: 弹药顺装、超限装载 B31: ...	B12: 做好现场管控 B22: 技术员现场指导装载 B32: ...
C 弹药运输	C11: 路线选择不符合规定 C21: 弹药振荡、跌落 C31: ...	C12: 提前筹划弹药运输 C22: 控制车速、注意观察 C32: ...
D 弹药储存	队属仓库 D11: 温湿度超限 D21: 安防设备故障 D31: ...	D12: 及时通风降 D22: 加强警戒、及时修理 D32: ...
	野战仓库 D41: 同类弹药同堆存放 D51: 季节灾害 D61: ...	D42: 按规定分堆 D52: 考察当地季节灾害 D62: ...
E 实弹射击	E11: 恶劣天气试验 E21: 早发火、迟发火 E31: ...	E12: 提前预告天气状况 E22: 做好射击前安全教育 E32: ...
F 未爆弹处理	F11: 未爆弹弹着点未检查到 F21: 落弹区有人员进入 F31: ...	F12: 安排弹着点观察员 F22: 及时对落弹区警戒 F32: ...
G 工厂销毁	G11: 防静电措施不到位 G21: 作业现场弹药超限 G31: ...	G12: 检测作业现场电阻 G22: 及时转移现场弹药 G32: ...

对于试验中存在的部分危险系数较大的安全风险隐患,可采取仿真手段进行仿真试验,找出最佳安全防护措施。然后,根据安全风险分析结果制作成部队能够使用的安全检查表,在试验前和试验时逐项进行检查。

4.4 发生安全事故处理一般程序和方法

如果弹药在役考核专项试验过程中发生安全问题,导致武器装备严重损坏或人员伤亡,应按照《通用弹药质量问题调查与处理规程》的要求,做好事故处理工作^[13-14]。弹药事故现场技术处理一般流程如图 4 所示。

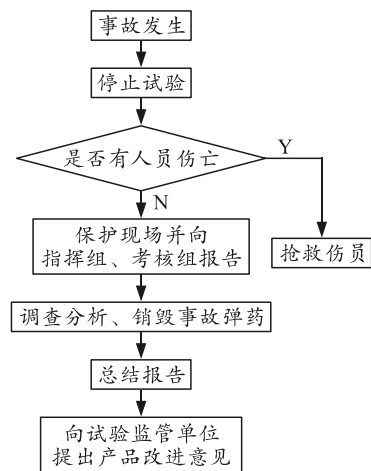


图 4 弹药事故现场技术处理流程

- 1) 立即停止试验,防止事故扩大。
- 2) 立即疏散人员,对受伤人员及时组织抢救,尽量减轻人员伤亡造成的损失。
- 3) 保护好事故现场,并将事故情况上报在役考核指挥组和考核组。报告内容包括事故发生的时间、地点、人员伤亡情况和武器装备损坏情况。
- 4) 参试单位应记录整理武器装备事故质量状况、事故发生的过程以及事故发生的环境条件情况等材料供事故调查分析时使用。
- 5) 在役考核指挥组和考核组及时组织力量对事故原因进行调查和分析论证,并组织力量对事故现场进行清理,对事故弹药按照就地销毁作业流程进行销毁作业。
- 6) 区分事故与设计、生产、储运和使用的因果关系,最终为事故弹药的全面处理提出参考意见。总结梳理事故弹药的问题缺陷并向试验监管单位提出改进意见建议。

5 结论

弹药装备在役考核研究是一个庞大复杂的综合

性课题,将全面考核弹药类装备在部队的服役状况,随着我军武器装备的快速发展,弹药的种类将越来越多,科技含量越来越高,不论弹药如何发展,安全问题都是弹药类装备在役考核试验的基本问题。深入研究弹药在役考核试验安全问题,综合运用各种防护手段,增强在役考核试验安全性,并促进我军弹药在役考核试验相关领域相关理论的发展,对于推动未来弹药类装备在役考核试验在基层部队的全面建设及发展意义重大。

参考文献:

[1] 孟庆均,曹玉坤,张宏江,等. 装备在役考核内涵与工作方法[J]. 装甲兵工程学院学报, 2017, 31(5): 18-22.
 [2] 孟庆均,郭齐胜,曹玉坤,等. 装备在役考核评估指标体系[J]. 装甲兵工程学院学报, 2018, 32(1): 18-24.
 [3] 张超,彭文成,闫耀东,等. 基于灰色关联度的指控分系统在役考核指标体系构建[J]. 兵器装备工程学报, 2018, 39(6): 94-98.
 [4] 王凯,赵定海,闫耀东,等. 武器装备作战试验[M]. 北京: 国防工业出版社, 2012: 131-132.
 [5] 张镭. 弹药试验风险因素分析[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(8): 51-55.

(上接第 87 页)

4 结论

1) 在位移阶段,药粒与模具以及药粒之间的距离在减小,应力集中出现在它们之间的接触部分,直至炸药被压至紧密,没有空隙,药粒进入塑性变形阶段,此时应力集中出现在模具内壁与炸药接触的位置,之后炸药内部受力慢慢趋于一致,应力集中消失。

2) 在 50 MPa 压力作用下,得到均匀一致药柱需要的保压时间为 78 μs,在 100 MPa 压力作用下,保压时间仅需 50 μs。在 100 MPa 压力作用下,压药过程中应力集中的数值较小,在 250 MPa 以内,不及大压力下的最大应力集中数值的 1/2; 因此,在压药试验过程中,对炸药施加 50 MPa 的力,保压 78 μs 更易得到合格药柱。

参考文献:

[1] 王秋雨,孙家利,卢凤生. 高能炸药分步压装药工艺过程控制及标准研究[J]. 新技术新工艺, 2020, 1(1): 71-74.
 [2] 李瑞静. 装药缺陷对弹药性能的影响研究[D]. 太原: 中北大学, 2015.

[6] 秦翔宇,张景臣,孟庆龙. 后方仓库弹药存储安全风险评估问题分析[J]. 装备学院学报, 2014, 25(3): 49-52.
 [7] 武雪芳,陈家宜. 定量风险评估标准探讨[J]. 上海环境科学, 2000, 19(4): 152-154.
 [8] 赵辉,董骅,邱玮婷. 基于 ALARP 准则的工程建设项目事故风险评估标准研究[J]. 工业安全与环保, 2017, 43(8): 39-42.
 [9] 吕鹏,曾相戈,张关根,等. 武器装备研制项目风险管理指南: GJB/Z171[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2013.
 [10] 安振涛,秦翔宇. 弹药储存安全风险评估理论与方法[M]. 北京: 国防工业出版社, 2016: 1-18.
 [11] 陈韬,刘瑜,申楠公. 弹药包装箱运输性设计[J]. 包装工程, 2017, 38(23): 31-36.
 [12] 邵云海,任风云,冯世豪. 库存退役报废弹药收缴运输安全风险及规避对策研究[J]. 物流工程与管理, 2015, 37(5): 246-247.
 [13] 高兴勇. 弹药事故处理[M]. 石家庄: 军械工程学院, 2007: 118-119.
 [14] 王军波,吕延龙,高敏,等. 通用弹药质量问题调查与处理规程: GJB5016[S]. 北京: 总装备部军标出版发行部, 2003.

[3] 张志,侯全辉. 某药柱压药工艺的改进[J]. 兵工自动化, 2019, 38(8): 21-23.
 [4] 智小琦. 弹箭炸药装药技术[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2011: 102-105.
 [5] 任学平,康永林. 粉末塑性加工原理及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998: 35-36.
 [6] 唐红,周俊辉,吕珂臻,等. PBX 压制过程中细观力学行为的二维数值模拟[J]. 含能材料, 2016, 24(7): 652-656.
 [7] 兰琼,唐维,贺建华,等. 某 HMX 基 PBX 温压时效处理过程变形规律数值模拟[J]. 含能材料, 2015, 23(6): 543-547.
 [8] 何超,屈可朋,李亮亮. 冲击加载下分步压装装药抗过裁响应特性的数值模拟与实验[J]. 火炸药学报, 2015, 38(6): 61-62.
 [9] 尤萌萌,潘诗琰,申小平,等. 粉末压制过程数值模拟的研究现状及展望[J]. 粉末冶金工业, 2017, 27(4): 49-58.
 [10] 周俊辉. 含能材料力学性能的多尺度模拟系统开发[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2016.
 [11] 刘群,陈朗,鲁建英,等. 炸药颗粒压制成型数值模拟[J]. 高压物理学报, 2009, 23(6): 421-426.
 [12] 张杏芬. 国外火炸药原材料性能手册[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1991: 180-181.