

doi: 10.7690/bgzd.2022.05.016

## 基于固有属性的通用弹药公路运输安全性分析

王 巍, 姚 恺

(陆军工程大学石家庄校区, 石家庄 050003)

**摘要:** 针对公路运输条件下弹药固有安全性问题, 以我军通用弹药为研究对象, 运用统计分析方法对引信类型、主装药、战术技术指标和勤务要求、弹药包装、运输速度 5 方面进行安全分析。迫击炮弹、火箭筒弹、榴弹炮弹以及轻武器弹药中的枪榴弹和榴弹发射器与弹射器弹药固有安全性较低, 容易在运输和装卸过程中受环境刺激而发生安全事故; 从发展不敏感弹药、提升包装防护性能、科学规划运输速度及路线、落实装卸规范 4 方面提出增加运输安全性的对策与建议。结果表明, 该分析能为确保弹药公路运输安全、推动弹药高效保障提供依据。

**关键词:** 弹药; 固有属性; 公路运输; 统计分析; 安全性

**中图分类号:** TJ410.89 **文献标志码:** A

## Safety Analysis of Road Transportation of General Ammunition Based on Inherent Attributes

Wang Wei, Yao Kai

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

**Abstract:** Aiming at the inherent safety problem of ammunition under the condition of road transportation, taking the general ammunition of our army as the research object, the safety analysis was carried out from 5 aspects of fuze type, main charge, tactical and technical indicators and service requirements, ammunition packaging and transportation speed by using statistical analysis method. Mortar shells, rocket shells, grenade shells and rifle grenades, grenade launchers and catapult ammunition in light weapons ammunition have low inherent safety and are prone to safety accidents caused by environmental stimulation in the process of transportation, loading and unloading; The countermeasures and suggestions for increasing the transportation safety were put forward from 4 aspects of developing insensitive ammunition, improving the protective performance of packaging, scientifically planning the transportation speed and route, and implementing the loading and unloading specifications. The results show that the analysis provides a basis for ensuring the safety of ammunition road transportation and promoting the efficient support of ammunition.

**Keywords:** ammunition; inherent attribute; road transportation; statistical analysis; safety

### 0 引言

由于弹药固有属性的危险性, 加之储存环境条件多变, 勤务作业过程繁琐, 导致弹药运输安全形势严峻。为此, 军内外众多研究人员对如何有效降低弹药公路运输风险、提高弹药运输安全进行了大量研究。研究重点主要集中在运输过程中的冲击、振动、弹药包装、交通运输环境、路线优化和安全评估等方面<sup>[1-5]</sup>。这些研究大部分侧重于外界环境因素对弹药公路运输安全的影响, 对弹药固有安全性在弹药公路运输安全评价过程中的分析不够充分。

弹药的安全性与其固有危险属性对环境刺激的感度有关。国内外相关资料显示, 就弹药固有性质而言, 引信类型、主装药、弹体结构和包装防护<sup>[6]</sup>等是影响弹药安全性的主要因素。特别是我军通用弹药, 由于安全水平参差不齐, 长期以来一直影响

和制约着我军弹药运输投送的开展和效益。

为提高弹药公路运输安全评估效果, 通过收集整理, 以我军 20 世纪 50 年代以后设计定性的 450 余种通用弹药为研究对象, 从统计学角度对引信类型、弹药包装、主装药、运输速度、战术技术指标和勤务要求 5 方面进行统计分析, 研究了我军通用弹药固有属性对公路运输安全影响的基本特征和规律, 为弹药公路运输安全管理和安全评价提供依据。

### 1 我军通用弹药安全基本情况分析

经过 70 多年的建设与发展, 我国通用弹药从零开始, 先后经历了仿制、仿研和自主研制 3 个阶段, 逐渐形成了以自主创新为主的研发体系, 实现了自主式、跨越式发展。通用弹药的战术、技术性能和安全性得到大幅提升, 满足了我军不同时期常规武

收稿日期: 2022-01-05; 修回日期: 2022-02-15

作者简介: 王 巍(1989—), 男, 河北人, 硕士, 从事弹药储供保障研究。E-mail: 402557352@qq.com。

器的弹药保障需求<sup>[7]</sup>。通过大量的统计分析和分类汇总,我军各式弹药按武器平台划分主要包括轻武器弹药、后装炮弹、迫击炮弹、无坐力炮弹和火箭弹等,具体种类及数量分布状况如图1所示。

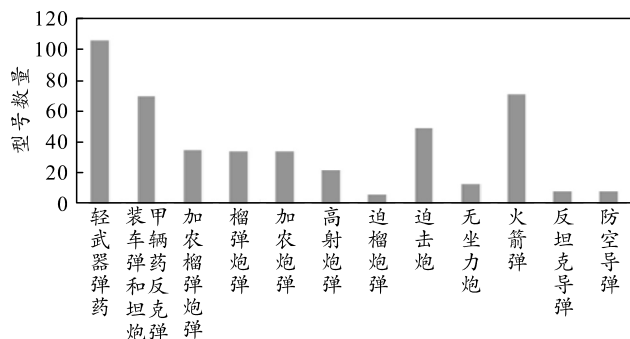


图1 通用弹药种类及数量分布

由上图可知:在我军通用弹药中,以装甲车辆弹药和反坦克炮弹、加农榴弹炮弹、榴弹炮弹、加农迫弹、高射炮弹、迫榴炮弹为主的后装炮弹占比较大,达到了 $2/5$ ,其次是轻武器弹药大约为 $1/4$ ,火箭弹和迫击炮弹约为 $1/5$ 和 $1/10$ 。这些弹药从生产到使用,大部分都要经历相当长的储存时间。其主要特点:储存寿命差异大,主要分布在 $3\sim 35$ 年;型号众多,结构组成差异明显;新老并存,安全水平参差不齐;储存时间长,大多经历过多次出入库和反复倒调。以上情况不但影响了弹药自身的安全性,也增加了弹药保障、销毁、转运等工作的难度。

## 2 弹药固有属性对运输安全影响分析

在国内外弹药安全性研究中,弹药的安全设计、含能部件、含能材料、运输、维修和销毁等都是弹药安全体系化研究的重要部分。虽然这些因素都与弹药系统安全有关,但在公路运输环节并非所有因素都对弹药安全产生影响。因此,在结合我军通用弹药安全现状与公路运输实际的基础上,重点选择了在运输过程中受振动、冲击作用较为敏感的引信类型、主装药类别、弹药设计和包装防护等方面作为弹药固有属性的分析内容。

### 2.1 引信运输安全性分析

弹药在公路运输和勤务处理过程中,难免会受到冲击和振动的作用,尤其在道路条件不佳、车辆高速行驶、遭遇突发情况时更加明显。引信作为弹药战斗部的引爆控制系统,对于冲击和振动作用十分敏感。当弹药在公路运输过程中遇到随机振动、稳态加速、机械共振、跌落冲击、机械碰撞等多种力学环境因素叠加影响时,容易造成引信装药松动、

零部件应力疲劳、导线断裂、开关失效、性能下降甚至保险解脱等安全问题<sup>[8]</sup>。据不完全统计,目前我军停用、停训的通用弹药大部分都是由于使用老引信或引信使用环境超出设计使用条件引起的;因此,在弹药安全性的研究中,常以引信运输安全性作为关键指标。我军通用弹药引信种类及配套分布统计结果如图2和图3所示。

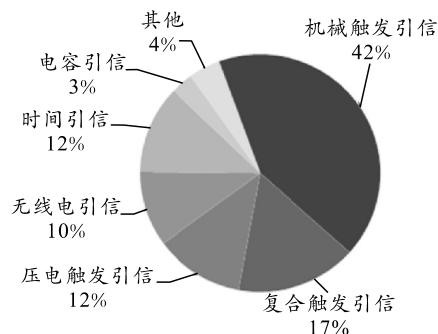


图2 通用弹药引信类型分布

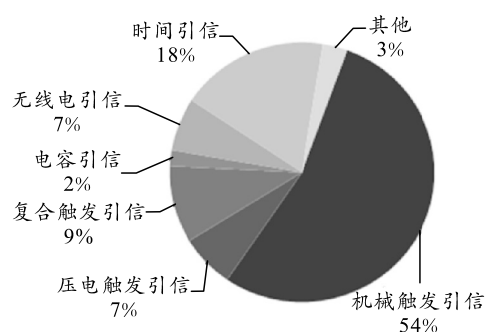


图3 通用弹药装配引信统计

由统计结果可知,触发类引信当中的机械触发引信、复合触发引信和压电触发引信约占全部引信类型的 $2/5$ 、 $1/5$ 和 $1/10$ ,共计约 $7/10$ 。而在装配使用上,这3类引信分别占弹药种类的约 $1/2$ 、 $1/20$ 和 $1/10$ ,共计约 $7/10$ 。根据引信作用原理可知,触发类引信是利用弹药碰击目标时的反作用力或前冲力达到发火效果<sup>[9]</sup>。与无线电引信、电容引信、压力引信等非触发引信和间接觉察类的时间引信相比,触发类引信在弹药公路运输过程中更易受到冲击、振动等外界环境的影响。其中,装配触发类引信的弹药中具有代表性的为枪榴弹、榴弹炮弹、迫击炮弹、无坐力炮弹、火箭筒弹等。在进行弹药运输安全评价和实际运输过程中,应重点关注该类弹药装配的引信类型、触发方式、隔爆类型、堆码高度、弹轴方向等要求,有针对性地采取安全措施。

### 2.2 主装药统计分析

装药类型决定了弹药的爆炸性能和贮存稳定性,其不敏感性在一定程度上决定了弹药公路运输

的安全性和保障效率。我军通用弹药主装药大多是以梯恩梯为载体的熔铸炸药，约占全部弹药的 90% 以上，主要包括黑梯炸药、阿马托 (amatol)、奥梯炸药 (octol)、太梯炸药 (pentolite) 和特梯炸药 (tetrytol) 等，并广泛应用于装填榴弹、破甲弹及导弹战斗部<sup>[10]</sup>。与引信类似，弹药内的装药在装卸和运输过程中也会受到不同程度的冲击与振动作用，如果弹药装药本身存在装填不紧、装药裂纹、杂质较多等缺陷，在装药之间或者装药与弹体之间的长期摩擦作用下，很容易使装药的机械感度增大，造成弹药爆炸事故<sup>[11]</sup>。

除此之外，由于弹药装药为混合高能化学物质，对于外界环境的温度变化十分敏感。在高温环境下，装药的各种感度趋于增大，增加了炸药分解爆炸的概率。在低温环境下，由于炸药收缩可能造成弹体内部装药出现裂纹和缝隙，增大摩擦作用。弹药在长期储存过程中的高低温循环作用会使炸药的力学性能变差，导致运输安全性降低。随着储存年限的增加，弹药装药逐渐老化，其撞击感度呈现增加的趋势。对于即将到达储存年限或者超期服役的库存弹药来说，无疑增加了弹药公路运输的危险性。在开展弹药公路运输工作前，应充分评估弹药主装药类型、已储存年限、运输温度范围等影响弹药装药安全的因素，使弹药在规定运输环境下运输。

### 2.3 战术技术指标和勤务要求统计分析

影响弹药公路运输安全的战术技术指标主要为弹丸初速和膛压。一般情况下，弹丸初速快慢和膛压大小呈正相关，并且在很大程度上受发射装药量、燃烧特性、能量特性、弹丸质量等多种因素影响<sup>[12]</sup>。各弹药弹丸平均初速和平均膛压统计如图 4 所示。

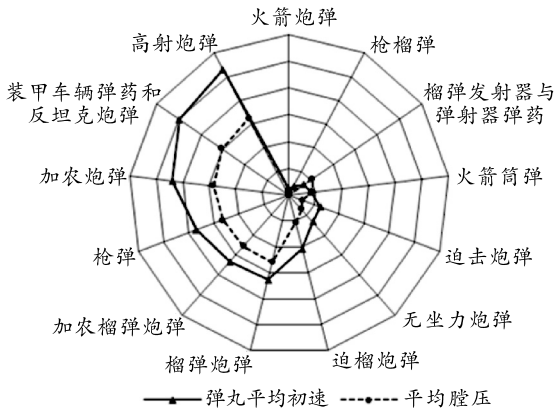


图 4 弹丸初速和膛压统计

在提高弹丸初速的同时都伴随着弹药底部压力

的显著增加，也伴随着弹药抗过载能力的提升。从上图可以得出，平均初速及膛压较小的弹种主要为火箭炮弹、火箭筒弹、迫击炮弹以及轻武器弹药中的枪榴弹和榴弹发射器与弹射器弹药。这类弹药由于具有初速小、膛压低、抗过载能力差的特点，相比于其他弹种来说，在运输过程中更加危险。

在勤务要求方面，安全落高是满足弹药运输、贮存、装卸、使用和爆炸物处理安全的重要指标。在 GJB5309《火工品试验方法》、GJB3857《弹药安全性试验规程》、GJB573A《引信环境与性能试验方法》、GJB4087《引信安全性检验方法》等标准中均涉及到了弹药及引信的安全落高要求，具体要求如表 1 所示。

表 1 安全落高要求

落高/m	包装情况	要求
0.5	无包装	能正常工作
1.5	无包装	跌落安全
1.5	有包装	能正常工作
3.0	有包装	跌落安全
12.0	有包装	跌落安全

我国过去研制的弹药及引信在安全落高要求上并不统一，在有明确规定的弹种中，安全落高要求为 12、3、1.5 m 的弹药分别占全部弹药种类的 24%、49%和 25%。在弹药型号分布上，安全落高在 1.5 m 以下的弹药主要以榴弹炮弹、加农榴弹炮弹、装甲车辆和反坦克炮弹中的部分弹型为主。这类弹药由于安全落高较低、抗过载能力较差，其装载高度、堆码层数要严格控制。由于弹药在公路运输过程中均采用完整包装形式，因此无包装情况不在统计范围内。

### 2.4 弹药包装统计分析

弹药包装对弹药运输过程中的安全性和可靠性有着直接影响，且不同材质的包装和设计结构起到的防护效果不同。我军通用弹药包装经过多年发展，虽然品种形式多样、外形结构不同、工艺材料各异<sup>[13]</sup>，但从包装形式上来说主要由外包装和内包装组成。主要包装形式和材料如表 2 所示。

表 2 通用弹药主要包装形式和材料

常见包装形式	弹种	包装形式与材料
	枪弹	木箱+铁盒
外包装+内包装	部分迫击炮弹	木箱+塑料包装筒
	部分装甲车辆和反坦克炮弹	木箱+玻璃钢包装筒
	迫榴炮弹和部分轻武器弹药	塑料箱+塑料包装筒/盒
外包装	部分后装炮弹	木箱、铁箱、塑料箱、玻璃钢箱

从上表可以看出：在我军通用弹药包装形式上，迫击炮弹、部分装甲车辆和反坦克炮弹、迫榴炮弹和部分轻武器弹药大都采用了外包装加内包装的形式。部分后装炮弹虽然仅采用了外包装形式，但其内部一般都设计并安装了限位卡板，降低了弹药在勤务处理过程中的位移和相互碰撞，使单一包装的安全性得到有效提升。另外，配套引信一般采用塑料盒或塑料袋单独包装。在外包装材质上，传统的木箱、塑料箱和铁质包装仍然占大多数，分别占包装总数的65%、19%和9%，而玻璃钢箱、复合材料箱等占比较少，具体情况如图5所示。为方便弹药分发、计量和提升包装的防护和缓冲效果，约60%的通用弹药在外包装的基础上还采用了内包装的形式。其中，塑料、玻璃钢筒、铁盒、铝塑袋、纸盒、防静电包装袋为主要包装材料，分别占31%、29%、22%、11%、4%和3%。此外，为增加防护力，大约1/4的通用弹药包装，还采用了以塑料和橡胶材料为主要材质的缓冲包装技术<sup>[14]</sup>，大大提升了弹药的安全性。

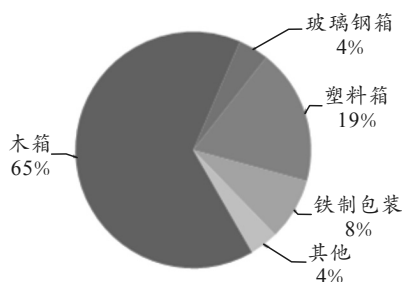


图5 通用弹药外包装材料统计

通过统计结果和相关文献可知，不同的包装形式、包装材料和包装技术对于弹药的防护效果有明显差距。就弹药公路运输安全性而言，采用缓冲材料、多层包装、拆分包装、限位卡板等技术能够有效提升弹药运输安全性。诸如榴弹炮弹、加农炮弹、加农榴弹炮弹、火箭弹和部分迫击炮弹等采用单层包装且未使用缓冲材料的弹种，其运输安全性将受到很大影响。在装载这类弹药过程中，应严格落实装载量、装载高度和加固措施，以最大限度的降低安全风险。

## 2.5 运输速度统计分析

在运输车辆行驶过程中，车速能够直接影响弹药振动强度的大小，是弹药公路运输安全评价分析中不可忽略的重要因素<sup>[15]</sup>。通过统计可以得到，在有明确规定运输速度的弹药类型中，除部分榴弹炮弹、加农榴弹炮弹、装甲车辆弹药和反坦克炮弹高

速公路运输速度可以达到80 km/h外，其余大部分弹药运输速度限定为50 km/h。具体运输速度分布如表3所示。

表3 通用弹药公路运输速度统计

公路等级	速度/(km/h)	占比/%
高速公路	80	36
	60~70	8
	50	56
一级公路	60~70	3
	50	22
	35~45	75
二级公路	35~45	82
	20~30	18

通过上表可以看出，弹药作为危险品其规定的运输速度普遍较低。在设定运输速度时，弹药固有属性、使用特点、整体设计和安全水平等因素对确定运输速度大小具有重要影响。通过分析不难得到，固有安全性较高的弹药，其运输速度往往也较高。同样，以迫击炮弹、迫榴炮弹、榴弹发射器与弹射器弹药为代表的弹药，其限速较低，这也侧面说明这类弹药安全性不高，容易发生安全事故。另外，在2017年发布实施的《中华人民共和国道路交通安全法实施条例》中规定：“高速公路上行驶的最低车速不得低于60 km/h。”而对于大部分限速为50 km/h的弹药运输车辆来说，行驶过程中必然会出现不间断地被社会车辆超车的情况，间接增加了弹药运输风险。

## 3 提高运输安全性的对策与建议

综合以上5方面的统计分析可以得出，我军通用弹药整体安全性较好，但不同弹药种类之间固有安全性区别较大。在轻武器弹药中，除枪榴弹和榴弹发射器与弹射器弹药外，整体安全性较好，而其余弹药均有不止一种固有属性安全性较低，容易在装卸和运输过程中发生安全事故。其中比较典型的弹种有迫击炮弹、火箭筒弹、榴弹炮弹以及轻武器弹药中的枪榴弹和榴弹发射器与弹射器弹药。虽然这些因素在公路运输过程中对弹药安全影响较大，但通过采取相应措施可以有效降低事故发生的概率，预防事故发生。

### 3.1 积极开展不敏感弹药研究

因对冲击、振动、碎片撞击、加热、殉爆等剧烈的外界环境刺激具有良好的稳定性，许多国家相继开展了不敏感弹药的研究<sup>[16]</sup>。为提高我军弹药保障的整体水平，降低潜在风险，可分别从制度层面和技术层面依次推进不敏感弹药的发展。在具体实

施过程中,以不同军种的弹药安全性需求为牵引,以研制低易损性的不敏感炸药为核心,围绕装药设计、弹体结构、包装防护结构设计展开相关研究。使新研制弹药在不降低基本性能的基础上,能够较好地兼顾安全性、威力和成本的关系,达到综合提高弹药安全性的目的。

### 3.2 有效提升包装防护性能

科学的包装设计不仅具有延长弹药储存年限、方便装卸、快速识别的功能,更可以减少振动、跌落、烤燃、破片撞击、冲击波冲击等外界刺激的不利影响,降低弹药意外引爆时的爆炸威力和殉爆的概率。就弹药公路运输安全性而言,采用防殉爆包装是防止弹药殉爆的重要方法。在具体应用上,可以针对不同弹种,将隔爆、抗爆、泄爆、缓冲减振 4 种功能进行优化组合<sup>[17]</sup>,通过改变盛装方式、增强材料性能、改进包装设计等技术,提升弹药运输安全性,减少殉爆概率。

### 3.3 合理选择运输速度及路线

选择合理的运输速度和等级公路能够有效提升运输效率和安全水平。在运输速度方面,应严格按照运输要求,使车速控制在相应等级公路要求范围内。路况不好时应视情况减速慢行,并适时检查车况和装载情况。在道路和路线规划方面,应优先选择路面平整、环境封闭、运输速度快、便于管控的高等级公路。尽量避开道路复杂、人口密集和高大建筑,如无法避开,则应选择在夜间车流量少、人员稀少时通过,以降低事故风险。

### 3.4 严格落实装卸载技术要求

由于我军通用弹药种类繁多,使用方法、作用机理、触发方式等均不相同,因此其运输装载标准和流程也有所区别。在对弹药进行装载前需严格按照规定要求落实装载和加固规定,确保弹药在运输途中不发生位移,做到不同类别的弹药不混装、引爆药和弹药分开放置、安定性差的弹药单独放置、弹体与车辆行驶方向垂直。严格控制堆码层数,堆码到车厢尾部时,需依次降低高度成阶梯形,且最后一列高度至少要低于车厢后侧挡板 1 个箱高,并使堆码高度限制在弹药安全落高以下。

## 4 结论

弹药公路运输是弹药保障的重要组成部分,也是安全事故的高发环节。除外界环境因素外,弹药

固有安全性也是影响运输安全的重要内容。通过对我军通用弹药固有属性中 5 种影响弹药公路运输安全的主要因素进行统计分析,分析了相对安全性较低的弹药种类,并探讨了提高运输安全性的对策与建议。该研究为进行弹药固有安全性研究奠定了基础,也为部队开展安全评价工作提供了依据。

### 参考文献:

- [1] 段良雷,钱建平.某型箱装弹药跌落过程动力学特性研究[J].兵器装备工程学报,2020,41(4):37-40.
- [2] 李海广,安振涛,武红文,等.典型弹药系统运输振动特性试验研究[J].包装工程,2017,38(15):92-96.
- [3] SEN Y, QING X. Numerical simulation of impact acceleration on the key parts of packing ammunition on condition of dropping[C]// Third International Conference on Mechanic Automation & Control Engineering. 2012: 1177-1179.
- [4] 安振涛,李飞,李金明,等.弹药公路运输安全影响因素分析及防护[J].工业安全与环保,2011,37(9):21-23.
- [5] 王光辉,陈思杨.基于层次分析法的军用危险品车辆运输路径选择研究[J].物流科技,2018(7):137-141.
- [6] 范士锋,董平,李鑫,等.国外海军弹药安全性进展[J].火炸药学报,2017,40(2):101-106.
- [7] 双海军.我国通用弹药发展的战略思考[J].兵工自动化,2012,31(7):15-18,23.
- [8] 张旭,张浩宇,吕晓峰,等.舰船携行弹药引信安全风险[J].制导与引信,2019,40(3):16-20.
- [9] 尹建平,王志军.弹药学[M].北京:北京理工大学出版社,2012:76-79.
- [10] 欧育湘.炸药学[M].北京:北京理工大学出版社,2014:387-391.
- [11] 苗勤书,沈晓军,孙韬.炮射杀爆弹装药安全失效的影响因素[J].火炸药学报,2006,29(6):48-50.
- [12] 高飞,王雨时,闻泉,等.某榴弹发射器最大膛压和膛口速度分布特性统计分析[J].弹道学报,2018,30(1):66-71.
- [13] 杨健,陆军,宋广涛,等.我军弹药包装现状分析及发展趋势探讨[J].包装工程,2006,27(5):265-267.
- [14] 李良春,李文钊.我国通用弹药包装容器与防护方法的现状[J].包装工程,2007,28(7):46-47,58.
- [15] 田润良,张颖,王治强.路面等级和车速对报废弹药公路运输安全影响分析[J].军事交通学院学报,2017,19(1):20-23.
- [16] 马晗晔,王雨时,王光宇.国外不敏感炸药综述[J].兵器装备工程学报,2020,41(5):166-174.
- [17] 周冰,李良春,张会旭.弹药防殉爆包装技术浅析[J].包装工程,2018,39(1):217-222.