

弹药公路运输安全评估研究综述

王巍^a, 姚恺^a, 李黎明^b

(陆军工程大学石家庄校区 a.弹药工程系 b.装备指挥与管理系, 石家庄 050003)

摘要: 综述了我军弹药公路运输安全评估的研究现状和特点规律, 分析提出了现有研究成果在理论和技术层面的不足, 为该领域研究提供参考借鉴。基于军地两类文献数据库, 采用文献检索法、对比法和归纳法对我军弹药公路运输安全评估相关内容进行了梳理, 分析了弹药公路运输安全评估研究的热点方向, 阐述了安全评估方法与安全评估技术 2 个方面研究的不足。我军弹药公路运输安全评估领域研究重点主要集中在安全评估方法应用、运输环境分析、运输振动影响、运输冲击影响、弹药包装防护、运输路径优化等 6 个方面, 且研究内容较为零散, 还未形成成熟的研究体系。针对我军弹药公路运输安全评估在研究方向与内容上的不足, 提出将改进和创新安全评估方法、加强弹药关重件振动安全研究、加大安全评估标准体系研究 3 个方面作为下一阶段的研究重点。

关键词: 弹药; 公路运输; 文献分析; 评估方法; 安全分析

中图分类号: TJ410 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9242(2022)04-0028-08

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2022.04.005

Safety Assessment of Road Transportation of Ammunition

WANG Wei^a, YAO Kai^a, LI Li-ming^b

(a. Department of Ammunition Engineering, b. Department of Equipment Command and Management, Shijiazhuang Campus, Army Engineering University of PLA, Shijiazhuang 050003, China)

ABSTRACT: The research status and characteristics of safety assessment of road transportation of ammunition in our army are summarized, and the deficiencies of the existing research results in theory and technology are analyzed, so as to provide reference for the research in this field. Based on the two kinds of literature databases of military and civilian, the literature review method, comparison method and induction method were adopted to sort out the contents related to the safety assessment of road transportation of ammunition in our army, analyze the hot research direction of the safety assessment of road transportation of ammunition, and expound the shortcomings of the two aspects of the research of safety assessment method and technology. The research focus in the field of safety assessment of road transportation of ammunition in our army mainly focuses on six aspects, such as the application of safety assessment method, analysis of transportation environment, impact of transportation vibration, impact of transportation impact, protection of ammunition packaging and optimization of transport path, etc. The research con-

收稿日期: 2021-04-09; 修订日期: 2021-05-28

Received: 2021-04-09; Revised: 2021-05-28

作者简介: 王巍(1989—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为弹药储供保障。

Biography: WANG Wei (1989—), Male, Postgraduate, Research focus: ammunition storage and security.

通讯作者: 姚恺(1978—), 男, 博士, 副教授, 主要研究方向为弹药储供保障、安全防护及包装测试。

Corresponding author: YAO Kai (1978—), Male, Doctor, Associate professor, Research focus: ammunition storage and security, safety protection and packaging testing.

引文格式: 王巍, 姚恺, 李黎明. 弹药公路运输安全评估研究综述[J]. 装备环境工程, 2022, 19(4): 028-035.

WANG Wei, YAO Kai, LI Li-ming. Safety Assessment of Road Transportation of Ammunition[J]. Equipment Environmental Engineering, 2022, 19(4): 028-035.

tents are scattered, and a mature research system has not been formed yet. In view of the shortcomings in the research direction and content of safety assessment of road transportation of ammunition in our army, three aspects of improving and innovating the safety assessment method, strengthening the vibration safety research of the heavy parts of ammunition, and increasing the research of safety assessment standard system are put forward as the research emphases in the next stage.

KEY WORDS: ammunition; road transportation; literature analysis; evaluation method; safety analysis

弹药公路运输安全评估是弹药保障及安全管理工作中的重要内容之一,主要内容是对弹药运输过程中的安全风险做出评估和预测,揭示运输过程中的潜在风险、致因机理、发展过程以及事故后果,并采取相应措施降低弹药公路运输的事故概率和危害程度。弹药作为重要的军物质基础,其供应保障的运输方式一般有公路运输、铁路运输和海运、空运。其中,公路运输因具有灵活性好、适应性强,能够独立担负中短途运输任务等特点,一直是我军机动作战的一种主要投送手段,更是我军在短途陆路机动和战术级行动中弹药供应保障的基本形式。另外,作为其他运输方式的补充和衔接,弹药从出厂到储存、从服役到退役、从使用到报废,每个阶段都涉及到公路运输。因此,针对弹药公路运输安全评估进行深入研究具有现实意义。运输的具体过程如图 1 所示。

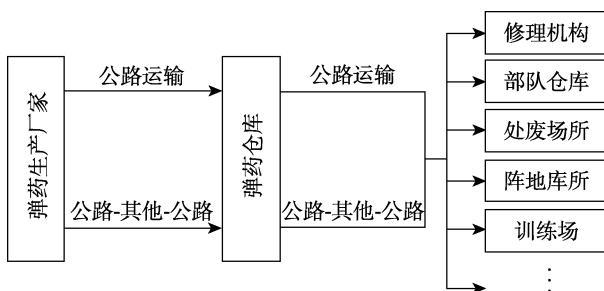


图 1 弹药全寿命中的公路运输

Fig.1 Road transportation of ammunition during its life-span

随着我军弹药保障水平的不断提高,弹药公路运输的安全性越来越受到各级重视,其安全评估与风险分析逐渐成为研究热点,并在力学分析、保障效能、加固、装载等方面十分活跃。

1 弹药公路运输安全评估研究文献分布概况

通过在 CNKI、万方、维普和中国军事期刊全文数据库中检索“弹药公路运输”、“安全评价”等关键词,经过筛选、核对,共梳理出相关文献 91 篇。其中,近 5 年的文献占到 56%,近 10 年文献的文献占到 88%,年平均数量为 5 篇。具体分布情况如图 2 所示。

对这些文献进行初步分析后发现,近 20 年来,我国学者对弹药公路运输安全评估的研究内容主要

集中在安全评估方法、运输环境、振动、冲击、弹药包装、路径优化 6 个方面,各研究方向内容和具体数量分布如图 3 所示。目前,虽然弹药公路运输安全评价相关领域的研究基本保持稳定,但在法规体系和标准体系上仍存在研究不足、发展滞后等问题。同样,在失效模式及危害机理探索上也有不系统、不深入的情况,导致未能给弹药的防护、保障、评估理论与技术的发展提供有力支撑,需要进一步加深研究。

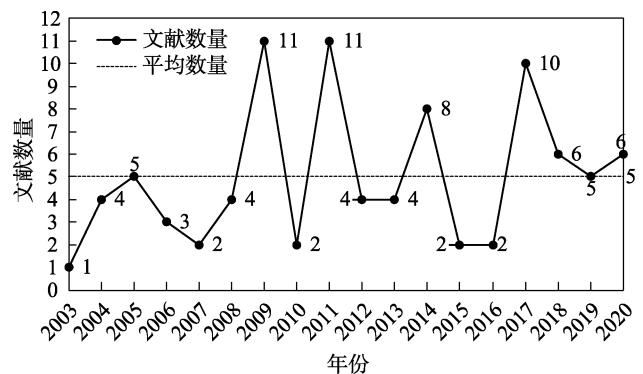


图 2 弹药公路运输年度文献数量分布

Fig.2 Annual document quantity distribution map of ammunition road transportation

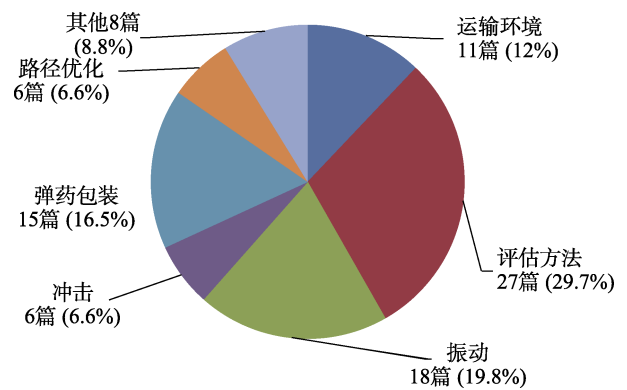


图 3 各研究方向文献数量分布

Fig.3 Quantity distribution of literature in each research direction

2 弹药公路运输安全评估体系研究方面

安全风险评估最先由美国将该技术应用于军事领域。直至 20 世纪 50 年代,我军才开始进行安全评估体系的研究。其研究概况如图 4 所示。

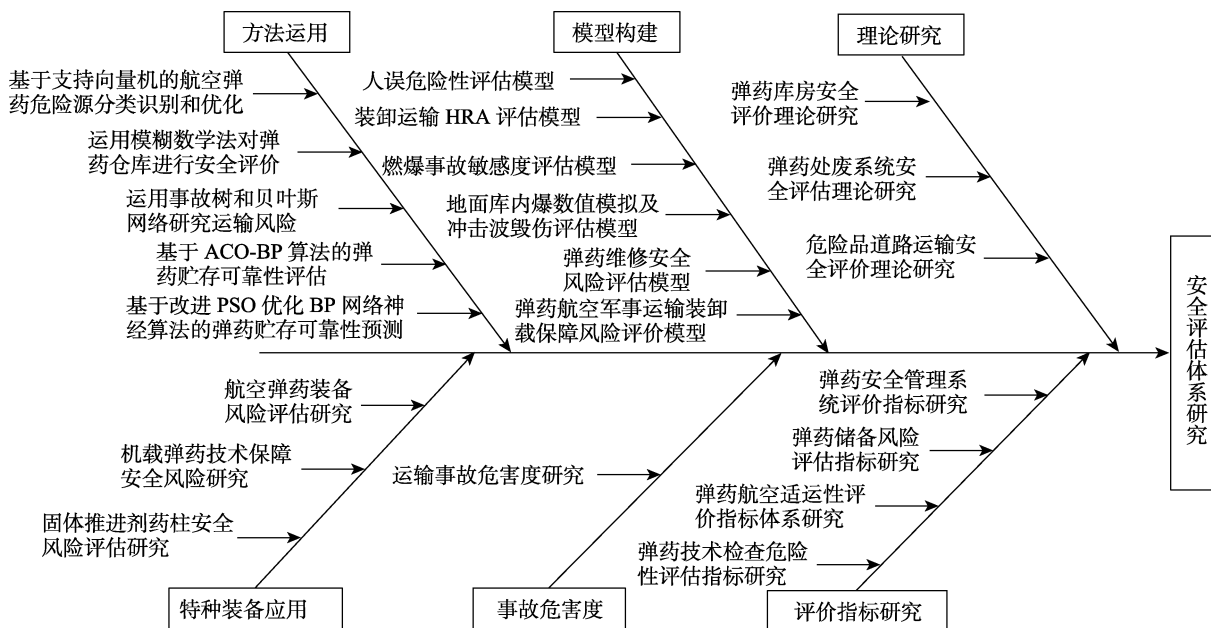


图4 弹药安全评估体系研究概况

Fig.4 Research overview of ammunition safety assessment system

在理论研究方面，加强安全风险评估理论研究已成为国家和军队降低安全风险、提升安全水平的普遍做法。在弹药库房安全评价中，刘亮等^[1]通过引入模糊神经网络评价理论，减少了评估过程中主观因素的影响。在弹药处废系统的安全风险评估中，刘江等^[2]提出了一种将熵权法与模糊综合评判法相结合的评价理论，使其安全水平能够得到客观反映。张宇等^[3]提出基于层次分析法和灰色聚类分析的危化品道路运输安全评价方法，对运输安全性进行了级别划分，避免了指标信息转化难的问题。

在模型与指标体系构建方面，秦翔宇等^[4-7]针对库存弹药安全，分别建立了库存弹药事故人误危险性评估模型、装卸运输 HRA 评估模型、库存物资燃爆事故敏感度评估模型、地面库整库内爆数值模拟及冲击波毁伤评估模型，为弹药安全评价研究积累了大量的数据和经验，拓宽了研究的广度和深度。由于人为因素，可靠性方面评价指标的选取和打分具有一定的主观性，因此在一定程度上会影响评价结果。同时，姜欣明等^[8]和颀正阳等^[9]分别在弹药维修安全和航空军事运输方面进行了研究，建立了相应的安全风险评估模型和指标评价体系。对于复杂的安全系统而言，合理的安全评估模型具有简单有效、可操作性强、易于量化、成本低等优势，今后仍将是我军弹药安全评估的研究重点。另外，弹药安全评价指标体系的构建以及评价指标的选取、量化，对于评价结果的精准度、客观性、可靠性等都至关重要。颀正阳等^[10]提出了一种改进的灰色关联度模型，并将其应用到弹药航空适运性中，使弹药航空适运性评价指标体系得到优化。在指标量化上，杨兴东等^[11]采用定性与定量分析相结合的方法，对弹药储备风险分析过程进行了研究，为

评估指标的量化提供了新方法。陈楠等^[12]利用层次分析法对所建立的弹药发运前后技术检查危险性评估指标体系进行了定量分析。

在危害度分析与方法运用方面，以往的风险分析由于缺少事故数据、不确定性因素多、危害度分析不全等原因，导致分析结果与实际情况之间存在较大偏差。为此，张江华等^[13]采用两维度分析法分析了危险化学品运输中存在的风险，并使用 GIS 等技术分析预测了运输事故的危害程度，解决了以往研究中样本信息不足、分析结果准确度不高的问题。安全评估结果是否准确、可信，很大程度上依赖于评估方法的选用。在评估方法的具体运用上，夏瑞阳等^[14]针对航空弹药安全，提出了基于支持向量机的危险源分类识别优化法，将航空弹药危险源进行分类和识别优化，减小了识别时间和能耗，提高了识别效率。刘芳等^[15]、宫华等^[16]分别基于改进 ACO-BP 算法和改进 PSO 优化 BP 神经网络算法，对弹药贮存可靠性评估以及弹药贮存可靠性预测进行了研究，有效提高了 BP 网络的精度和稳定性，使运算速度进一步提高。

在特种装备评估方面，李海广等^[17]引入突变理论评估方法，对航空弹药装备进行了安全风险评估。但由于该模型对控制变量的数量有严格的限制，导致引入的突变理论在评估过程中存在一定的局限性。叶文等^[18]分别利用基于改进灰色评价法和多级物元分析法对机载弹药技术保障进行了安全风险综合评价研究，解决了评估指标间互不相容和信息利用率不高的问题。闫大庆等^[19]等从失效判据、分析方法和失效性质 3 个角度对固体推进剂药柱安全评估进行了研究。

综上所述，弹药公路运输安全评估方法研究目前较为零散，缺乏系统理论研究，且已有研究在实际运

用上也还不够成熟。主要表现为模型选择过于简化, 对于复杂的实际问题无法客观评价; 选择的评价方法有些主观性太强, 难以得出客观有效的评估结果; 部分评估方法具有一定局限性, 使相应的研究成果未能在实践中发挥较好的作用。

3 弹药公路运输安全分析与试验技术研究方面

弹药公路运输安全分析与试验技术是提高弹药公路运输安全性的基础。通过对相关文献的分类整理, 我国弹药公路运输安全分析与试验技术研究现状见表 1。

3.1 宏观环境分析

环境的不安全刺激是导致弹药安全事故发生的

重要条件之一。为减少环境因素给运输安全带来的不利影响, 安振涛等^[20]利用事故致因理论建立了交通安全事故模型, 提出了在冲击振动影响、驾驶员选拔、协调安全管理等方面的防护对策。杨清熙等^[21]提出利用灰关联熵法对影响弹药储存安全的多种环境因素进行分析, 并得到了各因素影响程度的排序。倪震明等^[22]针对舰艇携行弹药进行了热带海洋环境效应分析, 提出了局部环境监测、损伤效应机理研究与建立数据库等建议。在报废弹药方面, 田润良等^[23]针对其危险性高、稳定性差、风险性大等特点, 提出了采用专用车辆、车厢降温、防撞击和摩擦、导静电、控制车速等安全措施和相应的风险控制策略以减少安全隐患。目前大量的研究集中在运输环境对传统弹药的影响上, 未来随着新型弹药的不断研发和列装, 电磁环境等非传统环境因素的影响将成为今后研究的重点。

表 1 弹药公路运输安全分析与试验技术现状

Tab.1 Present situation of safety analysis and test technology for road transportation of ammunition

序号	研究方向	研究内容	序号	研究方向	研究内容
1	宏观环境分析	交通运输环境分析	4	包装设计分析	弹药运输与弹药包装设计的关联性研究
		弹药安全环境分析			弹药包装材料及设计改进分析
		报废弹药运输环境分析			弹药包装箱运输性研究
	弹药集装运输研究				
2	冲击环境分析	关重件跌落冲击分析	5	路径优化分析	运输路径最优选择分析
		弹药箱跌落冲击分析			路径决策过程研究
		运输车辆冲击分析			多目标路径选择分析
3	振动环境分析	运输车辆振动力学分析	6	其他研究	弹药超限装载可行性分析
		运输环境振动力学分析			弹药运输安全文化建设研究
		随机振动特性分析			弹药运输静电防护研究
		室内模拟振动试验研究			弹药车厢堆码问题研究
		关重件振动力学分析			

3.2 冲击环境分析

弹药在公路运输准备阶段以及运输过程中, 对冲击作用比较敏感的关重件一直是我军研究的重点。段良雷等^[24]运用 ANSYS/LS-DYAN 软件对箱装弹药的不同姿态和堆摞高度进行了跌落冲击的仿真研究, 得出了安全的跌落角度范围与合理的堆摞箱数。周彬等^[25]利用计算机仿真, 分别对跌落过程中的包装箱和引信元件进行数值分析。秦翔宇等^[26]基于 Matlab 软件, 运用四阶龙格-库塔法对箱装弹药跌落安全性做了研究。然而, 上述研究成果大部分基于计算机仿真和模拟试验进行, 虽然在一定程度上能够为弹药冲击的安全评价提供参考, 但其试验结果并不能直接进行转化应用, 还需参照弹药运输和安全评估相关法规标准和实际情况进行检验。

3.3 振动环境分析

跌落冲击一度被认为是引起弹药损伤的主要因素, 从而忽略了振动的影响。实践表明, 随着弹药保障水平的提高和道路条件的改善, 振动逐渐成为影响运输安全的重要因素。李海广等^[27]设计和开展了针对典型弹药系统的振动模拟试验, 对弹体和关重件的振动加速度进行了全面测定, 得出了不同层弹体和引信的振动传递特性。姚国年等^[28]、韩保红等^[29]对弹药运输车在不同路面上行驶时车厢底板的振动功率谱和 3 个轴向的振动响应情况进行了详细分析。叶辛等^[30]建立了舰炮摆弹过程动力学模型, 对摆弹运动安全性和振动影响因素进行了分析和模拟仿真计算。於崇铭等^[31]建立了某型弹药系统二自由度振动力学模型和振动微分方程, 通过实测信号与参数分析得出弹药包

装对振动的影响,为提高弹药防护提供了一定参考。

3.4 包装设计分析

弹药包装是弹药装备的基本附件,它可以有效减少冲击、振动等外界不利因素对弹药带来的损害,提升运输安全性。目前,我军对于弹药包装的研究主要集中在投送储运、标准化、包装信息化、密封包装、防殉爆等方面。潘文庚等^[32]、刘跃龙等^[33]提出了改进弹药包装材料和结构设计的方法,拓宽了减小弹药运输振动的研究思路。周冰等^[34]根据弹药殉爆分析与弹药防殉爆包装技术,提出隔爆、抗爆、泄爆和缓冲减震等技术方法是弹药防殉爆包装设计的主要依据。陈滔等^[35]通过对弹药包装箱在各种运输搬运过程中的环境分析,确定了运输性的设计指标。另外,李士彦等^[36]、边浩然等^[37]还对弹药集装运输相关问题进行了研究,对于提升我军弹药公路运输保障效率、提高安全水平,提供了新的思路。未来战场环境更加复杂,采用新型包装材料、改进弹药包装结构、集装设计等需要研究人员进一步探索。

3.5 路径优化分析

弹药公路运输对路径的选取具有特殊要求,与运输成本相比,其更加注重运输的安全性、时效性和可靠性。鉴于此,我军弹药公路运输路径优化问题逐渐成为近5年的研究热点。王坤等^[38]、王光辉等^[39]通过建立不同模型,对弹药及危险品运输路径的最优选择进行了研究,使路径决策过程更加科学合理,结果可信度更高。陈靖仁等^[40]、吴耕锐等^[41]利用多种算法提出了运输路径的选取方法,减少了军事运输的距离,并提高了运输的安全性。虽然当前许多研究人员已在研究中将多种算法和模型应用其中,但其仍然以路径最短为研究核心,未将弹药安全作为重点要素进行研究。未来,怎样将风险小、时间短、效率高进行合理的优化组合,将成为该方向的研究重点。

除上述主要研究方向外,针对弹药保障安全的弹药车厢堆码、超重装载、静电防护、安全文化建设等不同角度、不同层面的研究也为我们拓宽了研究思路,使得弹药公路运输的研究更加全面和丰富。

4 结语

弹药公路运输安全评估工作是一项长期且艰巨的任务,是防范事故风险、降低安全隐患、提升保障水平的重要途径,需要不断探索新的安全评估方法与试验技术手段。本文综述了我军弹药公路运输风险分析与安全评估研究基本现状,并对内容体系进行了梳理划分。目前该领域研究内容主要集中在安全评估方法与试验技术方面,由于弹药公路运输安全评估是一个包含多种安全因素的复杂系统,且研究内容尚未形

成完整体系,部分研究成果仍存在较大局限性,因此该研究方向仍有许多问题需要进一步研究。

1)改进和创新安全评估方法,是提高评估结果的准确性和客观性的重要途径。安全评估结果是否准确、可信,很大程度上依赖于评估方法的选用。通过降低已有的评估方法在评价指标选择、模型选用等方面的局限性,可以有效减少评价结果受主观因素的影响。

2)我军对公路运输振动条件下关重件的研究并不全面,只侧重于基本的数据采集和简单的仿真计算,在成果应用上还需深入探索。因此在后续研究中,构建更加合理的理论分析和仿真模型、关重件振动特性研究、振动条件下的疲劳损伤机理等相关问题仍需进一步加深。

3)现有研究大多属于技术层面的研究,而在评估制度、组织架构、法规体系、标准体系建设等宏观层面的研究涉及不多。因此,在充分考虑基层部队需求的前提下,对弹药安全领域进行制度优化,是提升保障效率、提高安全水平、适应现代化战争发展的必要举措。

参考文献:

- [1] 刘亮. 基于模糊神经网络的弹药库房安全评价[J]. 四川兵工学报, 2012, 33(3): 91-92.
LIU Liang. Ammunition Warehouse Safety Evaluation Based on Fuzzy Neural Network[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2012, 33(3): 91-92.
- [2] 刘江, 凌丹, 肖振林. 基于熵权模糊综合评判的弹药处废系统安全风险评估[J]. 兵工自动化, 2011, 30(8): 31-34.
LIU Jiang, LING Dan, XIAO Zhen-lin. Security Risk Assessment of Scraped Ammunition Disposing System Based on Entropy Weight and Fuzzy Comprehensive Evaluation[J]. Ordnance Industry Automation, 2011, 30(8): 31-34.
- [3] 张宇, 吕淑然, 王婉青. 基于 AHP 和灰色聚类的危化品道路运输安全评价[J]. 安全, 2020, 41(3): 54-60.
ZHANG Yu, LÜ Shu-ran, WANG Wan-qing. Safety Evaluation of Road Transportation of Hazardous Chemicals Based on AHP and Grey Cluster Analysis[J]. Safety & Security, 2020, 41(3): 54-60.
- [4] 秦翔宇, 安振涛, 郭文晖. 库存弹药事故人误危险性分析与评估模型研究[J]. 中国安全科学学报, 2009, 19(8): 133-138.
QIN Xiang-yu, AN Zhen-tao, GUO Wen-hui. Research on Human Error Analysis and Assessment Model of Stock Ammunition Accidents[J]. China Safety Science Journal (CSSJ), 2009, 19(8): 133-138.
- [5] 秦翔宇, 安振涛, 甄建伟. 基于 CREAM 的后方仓库叉

- 车装卸运输弹药 HRA 评估[J]. 军械工程学院学报, 2013, 25(5): 10-16.
- QIN Xiang-yu, AN Zhen-tao, ZHEN Jian-wei. HRA Assessment of Fork Loads and Unloads Ammunition Based on CREAM[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2013, 25(5): 10-16.
- [6] 秦翔宇, 关冰兵, 安振涛, 等. 弹药库房储存物资燃爆事故敏感度评估[J]. 装甲兵工程学院学报, 2014, 28(5): 45-48.
- QIN Xiang-yu, GUAN Bing-bing, AN Zhen-tao, et al. Explosion Accident Sensitivity Evaluation of Ammunition Depot Stock Material[J]. Journal of Academy of Armored Force Engineering, 2014, 28(5): 45-48.
- [7] 秦翔宇, 安振涛, 甄建伟, 等. 基于数值模拟的弹药地面库整库燃爆冲击波毁伤风险评估[J]. 军械工程学院学报, 2014, 26(3): 1-5.
- QIN Xiang-yu, AN Zhen-tao, ZHEN Jian-wei, et al. Shock Wave Damage Risk Assessment of Ammunition Ground Warehouse Explosion Based on Simulation[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2014, 26(3): 1-5.
- [8] 姜欣明, 罗兴柏, 张玉令, 等. 基于梯形模糊综合分析法的弹药维修安全风险评估[J]. 数学的实践与认识, 2011, 41(21): 183-193.
- JIANG Xin-ming, LUO Xing-bai, ZHANG Yu-ling, et al. Research on Ammunition Maintenance Safety Risk Assessment Based on the Trapezoidal Fuzzy Comprehensive Analytical Method[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2011, 41(21): 183-193.
- [9] 颀正阳, 安红, 陈思杨. 基于熵权-云模型的弹药航空军事运输装卸保障风险评价[J]. 军械工程学院学报, 2017, 29(3): 34-39.
- XIE Zheng-yang, AN Hong, CHEN Si-yang. Entropy-Cloud Model-Based Risk Evaluation of Loading and Unloading Support of Ammunition by Military Air Transportation[J]. Journal of Ordnance Engineering College, 2017, 29(3): 34-39.
- [10] 颀正阳, 安红, 陈思杨. 基于改进灰色关联度的弹药航空适运性评价指标体系构建[J]. 装备环境工程, 2017, 14(9): 16-21.
- XIE Zheng-yang, AN Hong, CHEN Si-yang. Construction of Evaluation Index System about Ammunition Air Transportation Fitness Based on Improved Grey Relational Degree[J]. Equipment Environmental Engineering, 2017, 14(9): 16-21.
- [11] 杨兴东. 弹药储备风险分析模型研究[J]. 科技导报, 2005, 23(5): 37-39.
- YANG Xing-dong. Study on the Analysis Model of the Risk of Ammunition Store[J]. Science & Technology Review, 2005, 23(5): 37-39.
- [12] 陈楠, 安振涛, 秦翔宇, 等. 基于 AHP 的弹药技术检查危险性评估指标[J]. 四川兵工学报, 2008, 29(4): 18-20.
- CHEN Nan, AN Zhen-tao, QIN Xiang-yu, et al. Risk Assessment Index for Technical Inspection of Ammunition Based on AHP[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2008, 29(4): 18-20.
- [13] 张江华, 赵来军. 危险化学品运输风险分析[J]. 系统工程理论与实践, 2007, 27(12): 117-122.
- ZHANG Jiang-hua, ZHAO Lai-jun. Risk Analysis of Dangerous Chemicals Transportation[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2007, 27(12): 117-122.
- [14] 夏瑞阳, 陈丽. 库存航空弹药事故危险源分类识别优化仿真[J]. 计算机仿真, 2019, 36(10): 65-68.
- XIA Rui-yang, CHEN Li. Optimization and Classification of Hazard Source Classification Identification for Inventory Aviation Ammunition Accident[J]. Computer Simulation, 2019, 36(10): 65-68.
- [15] 刘芳, 王宏伟, 宫华, 等. 基于改进 ACO-BP 算法的弹药贮存可靠性评估[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(4): 177-181.
- LIU Fang, WANG Hong-wei, GONG Hua, et al. Evaluation of Ammunition Storage Reliability Based on Improved ACO-BP Algorithm[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(4): 177-181.
- [16] 宫华, 舒小娟, 郝永平. 基于改进 PSO 优化 BP 神经网络的弹药储存可靠度预测[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(4): 34-37.
- GONG Hua, SHU Xiao-juan, HAO Yong-ping. Predicting on Ammunition Storage Reliability Based on Improved Particle Swarm Algorithm Optimized BP Neural Network[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(4): 34-37.
- [17] 李海广, 任风云, 王流通. 基于突变理论的航空弹药装备安全风险评估[J]. 徐州空军学院学报, 2010, 21(4): 53-71.
- LI Hai-guang, REN Feng-yun, WANG Liu-tong. Aviation Ammunition Equipment Security Risk Assessment Based on Catastrophe Theory[J]. Journal of Xuzhou Air Force College, 2010, 21(4): 53-71.
- [18] 叶文, 赵建忠, 万海涛, 等. 基于改进灰色评价法的机载弹药技术保障安全风险综合评价研究[J]. 舰船电子工程, 2017, 37(8): 133-135.
- YE Wen, ZHAO Jian-zhong, WAN Hai-tao, et al. Security Risk Assessment of Airborne Ammunition Technical Support Based on Improved Grey Evaluation[J]. Ship Electronic Engineering, 2017, 37(8): 133-135.
- [19] 闫大庆, 单建胜, 孟雅桃. 固体推进剂药柱的可靠性评估技术[J]. 火炸药学报, 2008, 31(1): 68-71.
- YAN Da-qing, SHAN Jian-sheng, MENG Ya-tao. Evaluation Methods of Solid Propellant Grain Reliability

- ity[J]. Chinese Journal of Explosives & Propellants, 2008, 31(1): 68-71.
- [20] 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.
AN Zhen-tao, LI Fei, LI Jin-ming, et al. The Effect Factor Analysis and Defence of the Ammunition Transportation Safety[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2011, 37(9): 21-23.
- [21] 杨清熙, 杜博文, 宣兆龙, 等. 弹药贮存环境主要影响因素灰关联熵分析方法[J]. 兵器装备工程学报, 2020, 41(7): 86-89.
YANG Qing-xi, DU Bo-wen, XUAN Zhao-long, et al. Analytical Method for Main Influence Factors of Ammunition Storage Environment Based on Grey Correlation Entropy[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2020, 41(7): 86-89.
- [22] 倪震明, 赵方超, 肖勇, 等. 热带海洋环境下舰艇携行弹药的环境效应分析[J]. 装备环境工程, 2018, 15(6): 93-98.
NI Zhen-ming, ZHAO Fang-chao, XIAO Yong, et al. Environmental Effects of Shipborne Ammunitions in Tropical Marine Environment[J]. Equipment Environmental Engineering, 2018, 15(6): 93-98.
- [23] 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.
TIAN Run-liang, ZHANG Ying, WANG Zhi-qiang. Influence of Road Level and Vehicle Speed on Highway Transportation Safety of Waste Ammunition[J]. Journal of Military Transportation University, 2017, 19(1): 20-23.
- [24] 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.
DUAN Liang-lei, QIAN Jian-ping. Study on Dynamic Characteristics of Drop Process of a Certain Type of Boxed Ammunition[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2020, 41(4): 37-40.
- [25] 周彬, 安振涛, 甄建伟, 等. 跌落条件下箱装弹药安全性的数值评估[J]. 装备环境工程, 2009, 6(5): 50-53.
ZHOU Bin, AN Zhen-tao, ZHEN Jian-wei, et al. Numerical Evaluation of Packaged Ammunition Security under Condition of Dropping[J]. Equipment Environmental Engineering, 2009, 6(5): 50-53.
- [26] 秦翔宇, 安振涛, 李文生, 等. 基于 Matlab 仿真的箱装弹药跌落安全性研究[J]. 四川兵工学报, 2009, 30(6): 18-20.
QIN Xiang-yu, AN Zhen-tao, LI Wen-sheng, et al. Research on Drop Safety of Ammunition in Box Based on MATLAB Simulation[J]. Journal of Sichuan Ordnance, 2009, 30(6): 18-20.
- [27] 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.
LI Hai-guang, AN Zhen-tao, WU Hong-wen, et al. Experimental Study on Transportation Vibration Characteristics of Typical Ammunition System[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(15): 92-96.
- [28] 姚国年, 张卫东, 赵辉. 弹药公路运输随机振动特性分析[J]. 测控技术, 2004, 23(7): 67-69.
YAO Guo-nian, ZHANG Wei-dong, ZHAO Hui. Random Vibration Characteristic Analysis of the Ammunition during Road Transportation[J]. Measurement & Control Technology, 2004, 23(7): 67-69.
- [29] 韩保红, 齐京礼, 闫庆华, 等. 弹药运输车辆随机振动的测试及理论分析[J]. 机床与液压, 2012, 40(1): 78-82.
HAN Bao-hong, QI Jing-li, YAN Qing-hua, et al. Random Vibration Test of Vehicle in Ammunition Transportation and Theoretical Analysis[J]. Machine Tool & Hydraulics, 2012, 40(1): 78-82.
- [30] 叶辛, 孙世岩, 谭波. 舰炮摆弹运动弹药振动的影响因素分析[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(2): 44-47.
YE Xin, SUN Shi-yan, TAN Bo. Analysis of Influence Factors on the Vibration of Ship Gun Swing Motion Ammunition[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(2): 44-47.
- [31] 於崇铭, 任风云, 田丰. 航空弹药铁路运输振动响应模型及影响因素分析[J]. 兵器装备工程学报, 2017, 38(11): 151-154.
YU Chong-ming, REN Feng-yun, TIAN Feng. Aviation Ammunition Vibration Response Model and Influence Factors Analysis of Railway Transportation[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2017, 38(11): 151-154.
- [32] 潘文庚, 柯先锋, 王晓鸣, 等. 基于减小弹药运输振动的包装研究[J]. 包装工程, 2007, 28(3): 110-111.
PAN Wen-geng, KE Xian-feng, WANG Xiao-ming, et al. Packaging Research for Reducing Ammunition Transport Vibration[J]. Packaging Engineering, 2007, 28(3): 110-111.
- [33] 刘跃龙, 安振涛, 李天鹏, 等. 弹药包装运输动力学研究现状[J]. 包装工程, 2017, 38(23): 121-127.
LIU Yue-long, AN Zhen-tao, LI Tian-peng, et al. The Research Status of the Transportation Dynamics of Ammunition Packaging[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(23): 121-127.
- [34] 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.
ZHOU Bing, LI Liang-chun, ZHANG Hui-xu. Anti-Sympathetic Detonation Packaging of Ammunition[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(1): 217-222.
- [35] 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.

- CHEN Tao, LIU Yu, SHEN Nan-gong. Transportability Design of Ammunition Packaging Container[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(23): 31-36.
- [36] 李士彦, 李文蕾, 方建华, 等. 基于作战需求的集装箱弹药投射毁伤系统[J]. 火炮发射与控制学报, 2020, 41(2): 48-52.
- LI Shi-yan, LI Wen-lei, FANG Jian-hua, et al. Container Ammunition Projection Damage System Based on Operational Requirements[J]. Journal of Gun Launch & Control, 2020, 41(2): 48-52.
- [37] 边浩然, 祁德元, 安建宾, 等. 海军战术弹药仓库托盘化、集装化保障研究[J]. 包装工程, 2020, 41(1): 217-222.
- BIAN Hao-ran, QI De-yuan, AN Jian-bin, et al. Palletized and Containerized Supply of Navy Tactic Ammunition Depots[J]. Packaging Engineering, 2020, 41(1): 217-222.
- [38] 王坤, 刘金梅. 弹药运输路径最优选择模型的仿真研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(5): 21-24.
- WANG Kun, LIU Jin-mei. Ammunition to Ensure Optimal Path Selection Model Simulation Research[J]. Computer Simulation, 2017, 34(5): 21-24.
- [39] 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, 41(7): 137-141.
- WANG Guang-hui, CHEN Si-yang. Military Vehicles of Dangerous Goods Transportation Route Choice Based on Analytic Hierarchy Process[J]. Logistics Sci-Tech, 2018, 41(7): 137-141.
- [40] 陈靖仁, 诸德放, 王坤. 航空弹药装载运输最优路径选取仿真研究[J]. 计算机仿真, 2018, 35(7): 70-73.
- CHEN Jing-ren, ZHU De-fang, WANG Kun. Simulation Study on Optimal Path Selection for Loading and Transportation of Aeronautical Ammunition[J]. Computer Simulation, 2018, 35(7): 70-73.
- [41] 吴耕锐, 郭三学, 吴虎胜, 等. 基于运输安全的自适应多目标路径优化算法[J]. 兵器装备工程学报, 2019, 40(8): 119-125.
- WU Geng-rui, GUO San-xue, WU Hu-sheng, et al. Adaptive Mutil-Objective Route Optimization Algorithm Based on Transportation Security[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2019, 40(8): 119-125.

责任编辑: 刘世忠