

非致命橡皮子弹的研究现状与发展趋势

李高平, 武栢丞, 王 婷, 蔡 庆, 陈 宏, 李常昊

(北京橡胶工业研究设计院有限公司, 北京 100143)

摘要: 介绍非致命橡皮子弹的射击精准性和杀伤力研究进展, 从结构设计和弹头材料优化提出橡皮子弹的改进方向。通过结构与弹头材料优化, 橡皮子弹可以起到既限制目标行动又尽量降低对目标杀伤力的作用。指出新型柔性弹头材料能更有效地吸收子弹冲击能, 是未来橡皮子弹的发展趋势。

关键词: 非致命; 橡皮子弹; 弹头材料; 射击精准性; 杀伤力; 结构设计; 材料优化

中图分类号: TQ336.8

文章编号: 1000-890X(2020)09-0713-06

文献标志码: A

DOI: 10.12136/j.issn.1000-890X.2020.09.0713

非致命武器通常是指杀伤力较低的一类武器, 不会大规模伤害人员和破坏装备, 只能使目标人员和设备暂时丧失战斗力。随着社会的发展和人道主义观念受到重视, 非致命武器显得越来越重要。目前非致命武器主要分为物理型、化学型和生物型3种。非致命子弹是物理型非致命武器的一种。

非致命橡皮子弹是一种动能打击失能弹药, 弹头采用具有一定硬度的橡胶材料制成, 对子弹的冲击起缓冲作用。橡皮子弹使用的目的是仅对目标人员造成非致命性打击, 其多用于武警和公安的日常执勤与防暴驱散。橡皮子弹使用时, 一方面能够对不法分子起到震慑作用, 另一方面又能够保证公民的生命安全。与其他非致命武器对比, 橡皮子弹可根据相应规格枪支口径按照标准进行生产, 可直接替换现有子弹, 在替换传统致命性武器时还能大幅降低成本。且鉴于枪支本身的便携性, 橡皮子弹在武警与公安的日常工作中使用十分便捷。

本文对橡皮子弹的国内外研究现状与发展趋势进行综述, 为我国橡皮子弹的开发和使用提供参考。

1 橡皮子弹的射击精准性和杀伤力研究进展

非致命橡皮子弹既要能够使命中目标丧失行

动能力以达到威慑的目的, 又要保证其杀伤力不会对目标造成致命性伤害, 因此橡皮子弹的设计必须兼顾射击精准性与杀伤力, 这也是其设计的关键。

影响橡皮子弹射击精准性与杀伤力的主要因素有如下两个。(1) 速度稳定性: 速度偏差小于10%, 以保证其精准性。(2) 冲击力: 单位面积冲击力不超过对人体造成致命伤害的阈值。

1.1 橡皮子弹的射击精准性

子弹的精准性往往取决于子弹的飞行稳定性, 即弹轴与弹道切线不发生过大偏离的性能^[1]。影响子弹外弹道飞行稳定性的因素有初始速度、弹心材料与外形特征、弹头同轴度等。非致命橡皮子弹的研究也在尝试减小子弹出膛速度以降低其杀伤力, 这就需要通过改变弹心材料与外形特征来改善其射击精准性。

为降低子弹的致死性, 满足“非致命”的设计理念, 通常采用部分柔性材料包裹铅弹, 以起到一定的缓冲作用, 比如“豆包”弹和锦纶弹, 就是用织物将铅粒包裹制成。但由于包裹材料密度相对较小, 导致弹头质量减小, 对弹头的飞行稳定性有一定的影响, 从而影响子弹的射击精确性。

锦纶弹在弹尾处进行增强设计以提高飞行稳定性, 但在射击精准性方面依然不够理想。且锦纶弹在击中目标后, 织物破碎会产生环境污染, 如果织物在人体伤口内破碎, 还将严重影响伤者的健康。

作者简介: 李高平(1970—), 男, 辽宁辽阳人, 北京橡胶工业研究设计院有限公司党委书记、总经理, 高级工程师, 硕士, 主要从事企业经营、生产和科研管理工作。

E-mail: ligaoping@sciences.chemchina.com

此外,还有一些铅粉或铅丸填充的弹性体子弹或热塑性塑料浇铸的子弹。该类子弹在射击过程中,由于弹头材料本身有吸收子弹动能的作用,从而降低了子弹对目标的杀伤力,橡皮子弹就是其中一种。由于该类型子弹的材料密度较小,弹心密度远小于传统金属子弹,导致弹头的飞行稳定性相对较差,子弹的射击精准性也受到一定影响。

1.2 橡皮子弹的杀伤力

子弹的杀伤力一般由侵彻力和停止力来评估。其中侵彻力是弹头钻入或穿透物体的能力,停止力是弹头命中目标后,令目标失去活动的能力。而非致命橡皮子弹的目的并不是对目标造成严重伤害,应降低其杀伤力。当子弹击中人体时,其冲击能受到质量和速度的影响。设计学认为子弹冲击能大于 $0.2 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 的阈值才能穿透人体并且造成人体内脏伤害^[2]。

不同国家对于子弹杀伤力也有不同的评估标准^[3],比如美国和德国等多数国家都以动能78 J作为对生物目标杀伤的标准,而法国为39 J,我国为98 J。也有使用比动能作为子弹杀伤力的评价标准,按照规定军用致命弹头或破片最小比动能为 $26 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$ 。

橡皮子弹的制造需要调整其成分(影响质量)、子弹性能(影响速度)和尺寸(影响截面积)来降低击穿皮肤的可能性。而且法律上也有一些关于减小橡皮子弹对目标人员伤害的要求,比如需要其射击距离大于40 m,不射击身体主躯干。但在实际使用过程中,并不能保证射击距离一定大于40 m,而且目前非致命橡皮子弹的射击精准性有待提高,实际击中部位与瞄准部位可能有一定偏差,从而造成预期效果之外的伤害。

根据多方研究,与普通子弹相比,现有非致命子弹的杀伤力有所减小,但是对人体而言依旧会造成不小的伤害,有悖于非致命子弹设计中“非致命”的初衷。

一方面由于子弹的射击精准性还有待提高,容易误伤到目标人员的头部、颈部和胸部等致命部位,给目标人员带来严重伤害;另一方面由于子弹本身动能较大,在与目标人员接触时的冲击能

大于皮肤所能够承受的阈值,倘若接触部位为较危险的部位,就会深入目标人员身体内部,造成预期之外的严重伤害。

一般认为人体皮肤有一定韧性,平均阻力因数为0.582,弹头穿透人体皮肤的临界速度为 $50 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,造成皮肤穿透的最小比动能为 $10 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$,如果弹头速度低于这个速度则不能穿透人体皮肤,只会在皮肤上留下挫伤的痕迹。

尸体上的试验研究^[4]表明,同等规格子弹在相同设计条件下,对不同性别的目标人员伤害等级也不同。将质量为6 g的12号标准橡皮子弹以出膛速度 $122 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 击中不同目标时,对女性造成的伤害等级远大于对男性的伤害等级。可知在非致命子弹设计过程中,也需要对不同性别目标造成的伤害进行分开测试。

从非致命子弹发展史看,橡皮子弹最早于1970年在英国北爱尔兰使用。1970—1975年,英国军方在北爱尔兰发射了55 000发橡皮子弹。据称该过程致死率达到1/18 000,严重伤害率为1/1 100。这种子弹使用了钝头型结构并以较低的速度来尝试降低杀伤力。据称这种子弹对于儿童和青少年的伤害最大^[5]。后来对该子弹进行了一定改进^[6],采用聚氯乙烯作弹头材料,提升了子弹的飞行稳定性,并且降低了子弹离开枪口的速度($71 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$)和动能(325 J)。这项改进使子弹对胸部的伤害减小,但是对头部的伤害更大,并且更容易导致死亡。

1984年南非安全部队在面对内乱的时候使用塑料弹头的非致命子弹,并且造成了较大数量的伤亡^[7]。1987—1993年,以色列国防军使用塑料和橡皮子弹,导致了数百位人员严重伤害^[8]。

2000年10月,以色列警察也使用了橡皮子弹控制以色列-阿拉伯的示威游行。即使警方按照橡皮子弹的安全使用方法来操作,比如射击距离大于40 m、瞄准示威者的下肢,但依旧会对被击中者带来一些钝性损伤或者穿透性损伤,其中损伤类型往往取决于被击中部位皮肤所能承受的最大强度^[9]。

目前我国常见的警用转轮手枪的9 mm非致命橡皮子弹,口径为9 mm,全弹长度为28.4 mm,

全弹质量为7.2 g,弹头质量为2.9 g,平均最大膛压为10.9 MPa,初始速度为 $(110 \pm 10) \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。通过模拟动能和计算比动能得到,该子弹离开枪口的动能为1 755 J,比动能为 $27.60 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$,在人体裸露部位近距离射击时能穿入皮下层^[10]。97式18.4 mm橡皮子弹的橡胶材料为硬质橡胶材料,其射击距离为5 m时可以穿入皮下层,导致肌层充血;射击距离为15 m时可致皮肤红肿损伤,皮下出血;射击距离为35 m时可致皮肤红肿,皮下轻度出血。

虽说该类橡皮子弹在设计上都尽量减小对人员的伤害,但依旧会产生预期外的重伤和死亡。相关医学研究认为,现有橡皮子弹的冲击能大、瞄准性能较差,未实现预期的非致命安全性,因此并不能算是安全武器。

2 橡皮子弹的设计研究现状与发展

为提高命中率及弱化杀伤力,非致命橡皮子弹的设计要点是子弹结构和弹头材料。

2.1 橡皮子弹的结构设计

橡皮子弹的结构主要有火箭形和管状,分别如图1和2所示;还有多球子弹和单球子弹。子弹头的形状能够最直接决定子弹对目标的杀伤力,比如平头子弹与人体接触面积更大,使人体单位面积皮肤受到的压力较小,有利于降低子弹穿透皮肤进入人体的能力;同时前端形状扁平会使子弹飞行过程中受到的空气阻力较大,使其速度降低和动能减小,有助于减小对人体的伤害。

1970年橡皮子弹刚问世时尝试用钝头型橡皮



图1 火箭形子弹



图2 管状子弹

子弹以减小对目标人员的伤害,但实际上这种子弹对目标人员的伤害并没有想象中小。在最初使用的北爱尔兰,钝头型的橡皮子弹依旧造成了人员死亡以及较多数量的重伤患者。然而后来橡皮子弹仍基本沿用了钝头结构,主要是在弹头包覆材料上进行不同的尝试,从最初的硬质橡胶材料到聚氯乙烯材料再到后来的聚氨酯材料。

一些研究机构也在尝试对橡皮子弹的结构进行改进。2015年武警工程大学开发了一种橡皮撞击弹^[11],该子弹主要由弹头和标准弹筒两部分组成,弹头4个分支与连接体采用轴销装配,4个分支合拢成圆柱形,插于弹筒内便完成整弹的组装,如图3所示。该撞击弹头在出膛后4个分支分开而形成十字形,如图4所示。

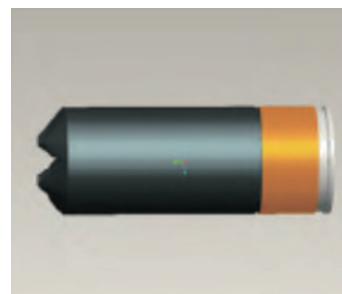


图3 橡皮撞击弹体模型



图4 橡皮撞击弹头出膛展开模型

橡皮碰击弹的开发通过多种计算和设计,保证子弹即使在重力和空气阻力等作用下也能保持平衡和弹头分支自如打开。经靶场试验得出,该子弹射击距离在30 m处的动能为31.94 J,能量相对较大,有较好的致痛作用。

由于橡皮碰击弹的特殊结构设计,击中目标时接触面积较大,比动能较小,有效降低了杀伤力。另外,该子弹平均速度为 $26.64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,不易嵌入甚至贯穿皮肤。实际评价为,该橡皮碰击弹能有效减小对人体的伤害,虽然其结构对射击精准性有一定影响,但是在射击距离为20 m时有效命中率为100%。

橡皮碰击弹头分支采用模具浇铸成型,便于大批量生产;连接体与支撑体全部采用非金属塑料,材料来源广泛,形状结构简单,均可塑化成型;弹筒为通用化、标准化产品。因此,橡皮碰击弹加工工艺容易实现。

2.2 橡皮子弹头的材料设计

对于不同口径的枪支,子弹形状一般有规格要求,具有一定的通用性。若对子弹结构进行重新设计,保持与原规格完全相同的形状,相对而言设计过程较复杂;倘若重新射击的子弹形状与原规格有所不同,使用时则需要更换配套枪支,成本较高。如能基于现有外形,对制造材料等进行优化,以达到降低杀伤力的作用,可明显降低子弹替换成本,经济效益良好。

为提高射击精准度、降低杀伤力,在橡皮子弹头的材料设计时考虑的因素主要有以下几点。

(1) 橡皮子弹头应具有适当的密度,才能保证子弹正常的飞行速度、射程、命中率以及非致命性,若子弹头的密度较小,则子弹射击精准度较低;若子弹头的密度较大,可能导致子弹杀伤力较高等。

(2) 子弹头的聚合物材料应具有良好的物理性能,如硬度、耐低温性和阻尼性能等,较好的耐低温性能能够防止子弹头在较冷气候下变硬,降低子弹杀伤力;较好的阻尼性能则可使子弹头吸收大部分的冲击能,减少能量传递,从而降低致死性。

(3) 子弹头材料应填充性价比较高的金属粉,金属粉应对枪管的破坏性和对环境的毒性较小,且密

度符合要求,价格适中。

传统橡皮子弹通常使用较硬的橡胶材料,其对能量吸收有限,导致子弹击中目标后造成的伤害依旧较大。为了改善这种情况,随着科技的进步,减能弹逐渐得到发展^[12]。减能弹与传统橡皮子弹结构的不同之处为在原橡皮子弹头增加了可变形的聚氨酯材料,当子弹与目标接触时,弹头材料通过弹性形变吸收了部分能量,从而降低子弹杀伤力。该设计提高了子弹的射击精准度,并且由于外部使用了较柔软的材料,子弹击中目标后几乎没有碎片散落,减小了子弹破裂碎片对人体的伤害,有效降低了子弹的杀伤力。即使如此,截至2007年也有13名人员受伤于减能弹。经过统计,其中37%的被击中人员有明显的头部、颈部和胸部伤害,但是没有击穿胸口的情况^[6]。

在橡皮子弹的发展历程中,最初非致命橡皮子弹头采用硬质橡胶材料包裹,以降低对目标的冲击作用,但是选用的橡胶材料硬度较大,子弹杀伤力依旧高于预期。而且在寒冷环境或较长储存时间下,外部橡胶材料会变脆,从而使杀伤力大幅提高。

出于安全考虑,有些国家用塑料子弹替代橡皮子弹,使其具有更高的射击精准度和较低的杀伤力。但研究^[12-13]表明,塑料子弹的致死率(1/4 000)远高于橡皮子弹(1/18 000),当然这两种致死率差异巨大与世界各国使用的子弹规格种类不同造成的统计差异相关。不过与橡皮子弹相同,塑料子弹确实更容易对头部和胸部造成伤害。

目前常用橡皮子弹头的材料有三元乙丙橡胶、天然橡胶、异戊橡胶和顺丁橡胶等,还有嵌段热塑性弹性体[苯乙烯-异戊二烯-苯乙烯热塑性弹性体(SIS)和苯乙烯-丁二烯-苯乙烯热塑性弹性体(SBS)]及其与热塑性树脂(聚苯乙烯、聚丙烯和聚氯乙烯)的共混物,还有使用丁基橡胶(IIR)和苯乙烯-异丁烯-苯乙烯热塑性弹性体(SIBS)制备橡皮子弹的报道。

如子弹头材料密度太小、子弹过轻,则无法对目标造成打击、形成威慑。根据对人体皮肤所能承受的最大能量以及子弹与人体撞击情况的

相关研究和计算得出,子弹头材料密度至少要达到 $24 \text{ Mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。添加填充物的热塑性弹性体/IIR并用胶可以达到密度要求。较软的橡胶材料更适合制造低致死性子弹,新型低致死性子弹会吸收大部分冲击能,与现有的火箭形和管状子弹相比,传递给目标的能量较小。

子弹在枪膛内受力后产生的形变不能过大,如子弹在枪膛内的变形超过容许限度,可能会对子弹在枪膛中的正常运动有一定影响,由此造成多种危险情况,子弹头应选择具有较小压缩蠕变的材料^[10]。子弹头材料还需具有较好的耐低温性能,以防在低温下硬度变化大和影响子弹杀伤力等。

IIR具有优异的耐低温性能和良好的阻尼性能,但压缩蠕变较大,加入SIBS以后,压缩蠕变减小,形状保持率提高。热塑性弹性体的加工方法类似于热塑性塑料,但具有橡胶或热固性弹性体的相似性能,这类材料可以用标准塑料加工设备加工,生产工艺相对简单,且其子弹头可回收再利用,符合绿色设计要求和环保趋势。总体来说,SIBS适合用作新型低致死性子弹头材料。

减能弹头外层包覆的聚氨酯材料在子弹击中目标时产生弹性形变而吸收能量,从而减小了传递给目标的动能,降低了对目标的杀伤力。现在使用的橡皮子弹有弹头橡胶材料遇低温变硬和致死性大幅提高的问题,而聚氨酯可以通过分子链设计,使其玻璃化转变温度较低,从而保证子弹在低温下依旧能够保持较低的杀伤力。

3 结语

综上所述,通过结构设计与材料优化,非致命橡皮子弹可以起到既限制目标行动、又尽量降低对目标杀伤力的作用。相比而言,在保证原有形状的情况下,选择新型易加工的子弹头材料是更经济和方便的优化方案。

根据目前橡皮子弹的发展趋势,新型柔性

子弹头材料能更有效地吸收子弹冲击能,对于这种新材料的开发和应用将是未来橡皮子弹的发展趋势。

随着绿色经济的不断发展,非致命武器的设计在保证不会对人员造成致命性打击的同时,也要顾及产品的可拆卸性和可回收性。非致命橡皮子弹在结构和材料上应尽量满足使用要求,以达到绿色环保的效果并实现可持续发展。

参考文献:

- [1] 赵文宣. 弹丸设计原理[M]. 北京:北京工业学院出版社,1988.
- [2] Sellier K G, Kneubuehl B P. Wound Ballistic and the Scientific Background[J]. American Journal of Forensic Medicine & Pathology, 1995, 16(4): 355.
- [3] 王文,刘斌胜,赵志亮. 防暴动能弹弹丸设计原则[J]. 山西科技, 2020, 25(5): 103-104.
- [4] Bir C, Viano D. Design and Injury Assessment Criteria for Blunt Ballistic Impacts[J]. Journal of Trauma, 2004, 57: 1218-1224.
- [5] Millar R, Rutherford W H, Johnston S, et al. Injuries Caused by Rubber Bullets: A Report on 90 Patients[J]. British Journal of Surgery, 1975, 62: 480-486.
- [6] Rocke L. Injuries Caused by Plastic Bullets Compared with Those Caused by Rubber Bullets[J]. The Lancet, 1983(1): 919-920.
- [7] Shaw J. Pulmonary Contusion in Children Due to Rubber Bullet Injuries[J]. British Medical Journal, 1972(4): 764-766.
- [8] Balouris C A. Rubber and Plastic Bullet Eye Injuries in Palestine[J]. The Lancet, 1990, 335: 415.
- [9] Ahmad Mahajna, Nabil Aboud, Ibrahim Harbaji. Blunt and Penetrating Injuries Caused by Rubber Bullets During the Israeli-Arab Conflict in October, 2000: A Retrospective Study[J]. The Lancet, 360(9337): 954.
- [10] 袁雅洁,高冲,张敏. 解析9 mm警用转轮手枪橡皮弹的战术性能[J]. 江西公安专科学校学报, 2010, 3: 102-104.
- [11] 魏旭旺,郭三学. 橡皮碰击弹非致命效能评估[J]. 弹箭与制导学报, 2015, 35(5): 49-52, 56.
- [12] Maguire K, Hughes D M, Fitzpatrick M S, et al. Injuries Caused by the Attenuated Energy Projectile: The Latest Less Lethal Option[J]. Emergency Medicine Journal, 2007, 24: 103-105.
- [13] Hughes D, Maguire K, Dunn F, et al. Plastic Baton Round Injuries[J]. Emergency Medicine Journal, 2005, 22: 111-112.

收稿日期: 2020-03-25

Research Status and Development Trend of Non Lethal Rubber Bullets

LI Gaoping, WU Zhancheng, WANG Ting, CAI Qing, CHEN Hong, LI Changhao

(Beijing Research and Design Institute of Rubber Industry Co., Ltd, Beijing 100143, China)

Abstract: The research progress of shooting accuracy and lethality of non lethal rubber bullets was introduced, and the improvement directions of rubber bullets from the structural design and warhead material optimization and were put forward. Through structural design and warhead material optimization, rubber bullets could not only limit the target's movement, but also reduce its lethality to the targets as much as possible. It was pointed out that the new flexible warhead material could absorb the bullet impact energy more effectively, which was the development trend of rubber bullets in the future.

Key words: non lethal; rubber bullet; warhead material; shooting accuracy; lethality; structural design; material optimization

2020年中国轮胎技术暨剖析云论坛在线上成功举办 由《轮胎工业》《橡胶工业》《橡胶科技》编辑部、中国化工学会橡胶专业委员会、全国橡胶工业信息中心、国家橡胶轮胎质量监督检验中心主办,北京橡胶工业研究设计院有限公司(简称北橡院)、北京橡院橡胶轮胎检测技术服务有限公司(简称检测公司)承办,风神轮胎股份有限公司协办的“2020年中国轮胎技术暨剖析云论坛”于2020年8月在线上成功举办。

在疫情影响下,“第21届中国轮胎技术研讨会”“2020年中国轮胎剖析研讨会”首次在线深度融合,从8月4日开始,连续4周每周二和周四19点在线直播,并向全行业免费开放,吸引轮胎生产企业、相关原材料和设备仪器制造企业以及大专院校、科研院所等单位的2万多人观看和踊跃交流。

北橡院党委书记、总经理李高平,副总经理马良清,风神轮胎股份有限公司副总经理申玉生分别在开幕式上致辞。

本次云论坛围绕“创新谋发展·同心赢未来”的主题,邀请25位轮胎及相关行业的知名专家、学者和资深技术人员,对轮胎行业的技术热点问题进行深入交流。云论坛一共安排了27个报告,其中17个主旨报告和来自北橡院青年骨干技术人员的10个串场报告。

演讲嘉宾高度重视,提前半个月拍摄了宣传

视频,并精心准备PPT和演讲材料;每场直播结束后,演讲嘉宾对观众的提问都做到有问必答;主办方及时汇总并于次日通过公众号“橡胶工业传媒”发布答疑内容。

2020年是“十三五”收官之年,汽车、轮胎和橡胶机械的发展趋势成为本次云论坛的关注热点。北橡院陈志宏教授的《轮胎行业“十四五”发展的初步设想及建议》、吉林大学卢荡教授的《汽车技术及车型变化对轮胎研发的新要求》、山东中亚轮胎试验场有限公司聂秋海副总经理的《室外试验场试验与轮胎产品性能开发的关系》、中国化工装备协会橡机专业委员会陈维芳秘书长的《我国橡胶机械行业现状与展望》等报告对行业都有很强的指导意义。

轮胎剖析解读是本次云论坛的主要内容之一。马良清的《国内外载重汽车轮胎和轿车轮胎最新剖析结果分析》、怡维怡橡胶研究院有限公司冯耀岭副总工程师的《载重汽车轮胎剖析报告最新解读》,以及检测公司李红伟总经理的《轮胎剖析各部位取样、制样方法》、苍飞飞副总工程师的《轮胎成分检测技术研究》、岳敏主任助理的《国内外轮胎剖析报告对比》等报告围绕轮胎剖析方法和最新轮胎剖析报告进行了精彩的解读。只有通过分析和借鉴知名品牌轮胎产品的最新剖析结果,用科学的产品设计技术、先进的结构和配方与生产工艺、前沿的仿真模拟技术全