

国内外防弹标准防护等级的研究与对比

张洋洋^{1,2}, 赵洪山^{3,4}, 彭伟^{3,4}, 胡春东^{3,4}, 杨志刚¹, 董瀚^{2,3,4}

(1. 清华大学 材料科学与工程学院, 北京 100084; 2. 钢铁研究总院, 北京 100081;

3. 上海大学 材料科学与工程学院, 上海 200444; 4. 上海大学 (浙江) 高端装备基础件材料研究院, 浙江 嘉兴 314100)

摘要: 一部完善合理的防弹标准不仅可以对防弹材料的防护等级进行正确的划分, 而且能为行动指挥者面对危险时选用不同的防护装备提供高效实用的指导。各个国家或国际组织的防弹标准根据各自特殊情况所制定, 因此不同国家的防弹标准在防护级别上有所差异。主要从防弹衣、防弹头盔、装甲防护车辆、透明装甲材料和其他防弹设备四个方面归纳了一些国内外常用防弹标准, 对不同防弹标准中各防护级别的弹丸侵彻能量进行横向对比, 并对其中4种常用测试弹丸的弹心材质和形貌结构进行比较与分析。通过对常用防弹标准的对比与分析, 总结出国内外常用防弹标准在防护等级和所测试弹丸威力等方面的异同, 期望能对从事相关行业的研究人员选用或修改完善防弹标准有所启发与帮助。

关键词: 防弹标准; 防护级别; 弹丸结构与材质; 初始动能

中图分类号: TJ06 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-1093(2022)09-2017-20

DOI: 10.12382/bgxb.2022.0626

Research and Comparison of Protection Rating in Domestic and Foreign Bulletproof Standards

ZHANG Yangyang^{1,2}, ZHAO Hongshan^{3,4}, PENG Wei^{3,4}, HU Chundong^{3,4}, YANG Zhigang¹, DONG Han^{2,3,4}

(1. School of Material Science and Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Central Iron & Steel Research Institute, Beijing 100081, China;

3. School of Material Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China;

4. Zhejiang Institute of Advanced Materials, Shanghai University, Jiaxing 314100, Zhejiang, China)

Abstract: Well-developed bulletproof standards can not only correctly classify the protection grade of the bulletproof materials, but also offer efficient and practical guidance for commanders to choose different protective equipment when facing danger. Each country or an international organization establish their bulletproof standards according to their own particular circumstances, and therefore the protection levels vary from country to country. Several common bulletproof standards are summarized from four aspects: body armors, bulletproof helmets, armored vehicles and ballistic transparent materials. A side-by-side comparison of the projectile penetration energy for each protection level in different ballistic protection standards was conducted, and the bullet core and morphological structure of several of the commonly tested projectiles were compared and analyzed. Through the comparison and analysis of the commonly used bulletproof standards, the similarities and differences between domestic and foreign standards in

收稿日期: 2022-07-11

基金项目: 上海市教委重点项目(2019-01-07-00-09-E00024)

作者简介: 张洋洋(1987—), 男, 博士研究生。E-mail: yy-zhang15@tsinghua.org.cn

通信作者: 彭伟(1988—), 男, 副教授。E-mail: pengwei1688@shu.edu.cn

terms of protection levels and the power of the tested projectiles were summarized. The results are expected to inspire and help researchers engaged in related industries to choose or improve their ballistic resistance standards.

Keywords: bulletproof standards; protection rating; bullet core and structure; muzzle energy

0 引言

“以子之矛,陷子之盾,何如?”可见,矛与盾的斗争自古有之。随着现代科技的进步,武器弹药的侵彻能力不断提高,对应“盾”的防护能力也在不断增强与进步^[1-4],为较准确地评价防护材料抵抗各种侵彻弹丸的能力,各种防弹标准应运而生且内容不断充实和完善^[5]。

由于各国制式枪弹口径及弹药结构的差异^[6-7],根据受到威胁程度的不同分别制定了各自相关的防弹标准。美国国家司法协会自 1972 年发布第一部防弹衣标准 NIJ 0101.00,至今已经 50 年。在长达半个世纪里,美国的防弹衣标准经历了 8 次修订和完善,其中 2008 年发布的 NIJ 0101.06 是目前世界范围内防弹衣防护等级评定应用最广泛的防弹标准之一^[8-18]。针对防弹头盔防护能力的等级划分,美国司法协会修改完善了 NIJ 0106.01 防弹头盔标准,该标准对射击实验的装备和实施细则做了详细说明^[19]。此外,由美国商业保险实验室制定的防护设备防弹标准 UL 752 也是国际上应用较为广泛的防弹标准之一^[20];俄罗斯作为军事大国,制定发布的防弹标准较多,其中应用较广泛的有 GOST 34286—2017《防弹衣分类和一般规范》^[21]和 GOST 34282—2017《装甲防护车辆 一般技术要求》^[22];英国防弹衣最新标准是 2017 年发布的 HOSDB《警用防弹衣标准》^[23],替换了 HOSDB《警用防弹衣标准》2007 版^[24];德国防弹衣标准应用最多的是 SCHUTZKLASS 标准 2008 版^[25],装甲车辆防护标准常用的为 VPAM-APR 防弹标准—2021^[26];欧盟 EN 1522—1998《窗、门、锁扣防弹要求和分类》^[27]和 EN 1063—1999《建筑玻璃、安全玻璃窗、防弹玻璃抗弹实验和分类》^[28]替换了老旧的德国 DIN 52290 防弹标准^[29]和英国 BS 5051 防弹标准^[30],是目前欧盟成员国应用较多的两部防弹标准;北约作为一个影响力较大的国际军事组织,制定发布了许多军事设施和装备的标准,其中防弹标准应用较多的有 STANAG 2920《个人装甲材料和战斗服装的弹道测试方法》^[31]和 STANAG 4569《装甲车辆成员防护等级》^[32];我国各种防弹标准也在随着

防护材料和威胁程度的变化而不断完善,目前应用较多的主要有中华人民共和国公共安全行业标准 GA 141—2010《警用防弹衣》^[33-34]、GA 164—2018《专用运钞车防护技术要求》^[35]、GA 165—2016《防弹透明材料》^[36-37]、GA 293—2012《警用防弹头盔及面罩》^[38-39]、GA 423—2015《警用防弹盾牌》^[40]、GA 668—2006《警用防暴车通用技术条件》^[41]等。

伴随着武器弹药侵彻力度的提升和防护材料技术的进步与发展,各国相应的防弹标准不断进行适当的调整与完善,使其更加符合新形势下的防护要求。因此了解和掌握不同国家最新的防弹标准和技术要求对于我国从事相关行业的研究人员具有十分重要的意义。目前评价装甲防护材料抗弹性能的方法主要有 3 种:第 1 种是根据抵抗枪弹威胁程度进行材料抗弹能力等级划分;第 2 种是测定其防护系数;第 3 种是测定防护材料的极限穿透速度 v_{50} 。防弹标准多采用第 1 种方法,后两种方法多用于装甲钢等均质装甲抗弹能力的评价^[1,42-46]。本文将从防弹衣、防弹头盔、装甲车辆防护、透明材料和其他防护设备 4 个方面对国内外现行常用的防弹标准防护等级进行归纳、总结和分析,并对防护级别和主要侵彻弹丸的相关数据进行研究和对比,同时简要介绍了部分标准中对弹丸类型和靶试条件及合格判据的具体要求和说明。同一标准中,每个级别的弹丸侵彻能量不同,对于初始动能 E 的计算采用如下公式^[44]:

$$E = \frac{1}{2}mv^2$$

式中: m 为弹头质量; v 为弹速,枪口与测速装置距离较近,由于风阻等引起的速度变化较小,因此将标准中弹速作为枪口初速来计算初始动能。与弹药工程相关的名词术语缩写如表 1^[15,23,26,32]所示。

1 常用防弹标准研究与对比

1.1 防弹衣标准

防弹衣是单兵(警)防护体系中最重要的重要组成部分,帮助穿戴人员抵抗弹丸和破片的侵彻^[47]。现代防弹衣的雏形是一战时期天然纤维加蚕丝防弹背

表1 弹药相关术语缩写

Table 1 Terms and abbreviations related to ammunition

缩写	名词	缩写	名词
FMJ	全金属钢被甲	AP	穿甲弹
FMJ * 1	全金属铜被甲	API	穿甲燃烧弹
FMs	全铜弹	CB	圆锥弹
SC	软心	FN	平头弹
SCP	铅心钢尖	PB	尖头弹
HC	硬质钢心	RN	圆头弹
FeC	铁核	JHP	被甲空尖弹
WC	钨心	SJHP	半被甲空尖弹
MSC	低碳钢心	JSP	被甲软头弹
FSP	模拟碎片	SJSP	半被甲软头弹
APDS	脱壳穿甲弹	SJOP	半被甲开尖弹
APFSDS	尾翼稳定式脱壳穿甲弹	LRHV	高速运动步枪铅弹

心和二战期间锰钢片和亚麻布的简单搭配^[48-49]。随着防弹衣防护性能的发展与进步,如何评价其防护能力成为迫切需要解决的问题,防弹标准在此需求背景下制定并不断修订完善^[5,18]。

1.1.1 NIJ 0101.06 防弹衣标准

美国是世界上拥有私人枪支数量最多的国家,

由此引发的枪击发案率非常高^[50]。美国国家司法协会2008年发布的NIJ 0101.06防弹衣防弹标准成为目前国际上防弹衣防护评定应用最多的标准之一^[15],我国出口国外的防弹衣大多按照此标准进行测试与评定。

NIJ 0101.06防弹标准防护等级划分及相关测试条件如表2所示,该标准将防护性能划分为5个等级(特殊测试未列入等级划分),分别为抵抗手枪弹丸威胁的II A级、II级、III A级,抵抗步枪弹丸威胁的III级、IV级,取消了NIJ0101.04A标准中的最低防护等级I级^[14]。标准中规定同一防护等级中列出的两种枪弹类型全部测试,如II A级测试的两种弹丸分别为9×19 mm全金属被甲圆头铅心弹和.40 S&W全金属被甲平头铅心弹,两种弹头结构不同,因此穿甲破坏效果也不同。由于材料抗弹性能与自身温度有一定关系,大部分防弹标准要求测试的防护装备需进行环境适应性实验^[51-53],该实验是指将防弹衣经高温、高湿、机械磨损、浸泡处理,旨在考察经此类处理后防弹衣的抗弹性能。NIJ 0101.06标准对测试样品的数量、大小型号及弹着点的位置均作了要求^[15-16],硬质防弹衣中插板的样品尺寸≤254 mm×305 mm。

表2 NIJ 0101.06 防弹衣防弹能力等级划分

Table 2 NIJ 0101.06 Body armor protection rating

防护等级	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)		射距/m	每靶片射击次数			背痕凹陷深度最大/mm	初始动能/J	
			环境适应性实验	新防弹衣测试实验		0°	30°	45°		环境适应性实验	新防弹衣测试实验
II A	9×19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	355 ± 9.1	373 ± 9.1	5 ± 1	4	1	1	44	504	557
	.40 S&W FMJ * 1 FN SC	11.7	325 ± 9.1	352 ± 9.1	5 ± 1	4	1	1	44	618	725
II	9×19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	379 ± 9.1	398 ± 9.1	5 ± 1	4	1	1	44	575	634
	.357 Magnum JSP SC	10.2	408 ± 9.1	436 ± 9.1	5 ± 1	4	1	1	44	849	969
III A	.357 SIG FMJ * 1 FN SC	8.1	430 ± 9.1	448 ± 9.1	5 ± 1	4	1	1	44	749	812
	.44 Magnum SJHP SC	15.6	408 ± 9.1	436 ± 9.1	5 ± 1	4	1	1	44	1 298	1 483
III	7.62×51 mm M80 FMJ PB SC	9.6	847 ± 9.1		15 ± 1	6	0	0	44	3444	
IV	7.62×63 mm	10.8	878 ± 9.1		15 ± 1	1~6	0	0	44	4163	
	.30-06 M2 AP FMJ * 1 PB HC										

1.1.2 NIJ 0101.07 防弹衣标准

NIJ 0101.07防弹衣标准草稿于2018年发布并公审复评,旨在用于替换NIJ 0101.06防弹衣标准^[17-18]。新版标准将防弹衣划分为防手枪弹HG级和防步枪弹RF级两大类,弹丸初始动能从最低防护等级634 J至最高防护等级4 124 J。各防护等级划分及相关射击要求如表3所示。

NIJ 0101.07标准中取消了新旧防弹衣弹速差异,全部采用高弹速。此外还取消了NIJ 0101.06标准中的II A级,与NIJ 0101.06相比,新标准增加了测试步枪弹丸的种类,RF1等级的防弹衣需要测试M80、M43、M193的射击实验,3种弹丸既有全威力高动能弹丸,又有高穿透弹丸,对防弹衣防护级别的要求既要能抵抗全威力弹丸,又要能抵抗中间威力弹和高穿

透弹丸,表明防弹标准对防护材料防弹性能要求越来越严格。RF2 等级防弹衣在 RF1 等级基础上增加了 SS109 弹丸测试,该弹丸与 M193 弹丸尺寸相同,但内部结构及弹心材料有差异,SS109 为铅心底座钢制尖头弹,侵彻穿透能力优于 M193。新旧两个标准最高防护级别均要求能抵抗 .30-06 M2 全金属铜被甲尖头穿甲弹的侵彻,弹心材质为硬质钢心,硬度为 785 HV^[54]。此外,靶试测试结果要求弹坑部位未出现可视性通透裂纹,且最大背痕凹陷深度 ≤ 44 mm。

1.1.3 GOST 34286—2017 防弹衣分类和一般规范

俄罗斯 GOST 34286—2017 防弹衣分类和一般规范于 2017 年发布^[21],该标准将防弹衣防弹能力划分为 BR1 ~ BR6 共 6 个等级,如表 4 所示。此标

准还对防弹衣防刺、防猎枪、防破片能力进行评级,等级代号分别是 S 级、S1 级和 S2 级。标准中 BR1 ~ BR3 是抵御手枪威胁的防护等级,3 个等级要求接受测试样品被有效击中后背面衬底材料凹陷深度 ≤ 17 mm。由于 BR3 级测试弹头采用硬度较高的强化钢心弹,即使弹丸动能小于 BR2 级测试弹丸,但防护级别却更高。BR4 ~ BR6 是抵抗步枪威胁的防护等级,新标准中这 3 个级别防弹性能要求靶板未穿透即可,未对靶板背面衬底材料凹陷深度作要求。该标准的最高防护级别为 BR6 级,接受测试弹丸为 12.7 × 108 mm 全金属钢被甲尖头穿甲燃烧弹,弹丸初始动能 16 602 J,是目前所有防弹衣标准中最高的防护等级。

表 3 NIJ 0101.07 防弹衣标准防护能力等级划分

Table 3 NIJ0101.07 Body armor protection rating

防护等级	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/ (m·s ⁻¹)	射距/m	每靶片射击次数			初始动能/J
					0°	30°	45°	
HG1	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	398	5	4	1	1	634
	.357 Magnum JSP SC	10.2	436					969
HG2	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	448	5	4	1	1	803
	.44 Magnum JHP SC	15.6	436					1 483
RF1	7.62 × 51 mm M80 FMJ PB SC	9.6	847	15	6	0	0	3 444
	7.62 × 39 mm M43 FMJ PB MSC	7.81	725					2 053
	5.56 × 45 mm M193 FMJ * 1 PB SC	3.6	990					1 764
RF2	7.62 × 51 (mm M80 FMJ PB SC	9.6	847	15	6	0	0	3 444
	7.62 × 39 mm M43 FMJ PB MSC	7.81	725					2 053
	5.56 × 45 mm M193 FMJ * 1 PB SC	3.6	990					1 764
	5.56 × 45 mm M855/SS109 FMJ * 1 PB SCP	4.0	950					1 805
RF3	7.62 × 63 mm .30-06 M2 AP FMJ * 1 PB HC	10.7	878	15	1 ~ 6	0	0	4 124

表 4 俄罗斯 GOST 34286 防弹衣防护等级划分

Table 4 Russia standard GOST 34286 armored clothing protection rating

防护等级	枪械类型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/ (m·s ⁻¹)	射距/m	背痕凹陷深度 最大值/mm	初始动能/ J
BR1	9 mm 手枪	9 × 18 mm 57N181S FMJ * 1 RN MSC	5.9	335 ± 10	5 ± 0.1	17	331
BR2	9 mm SR-1 型 vektor	9 × 21 mm 7N28 FMJ RN SC	7.93	390 ± 10	5 ± 0.1	17	603
BR3	雅利金 Pya 手枪	9 × 19 mm 7N21 AP SJOP HC	7.0	410 ± 10	5 ± 0.1	17	588
BR4	AK74	5.45 × 39 mm 7N10 AP FMJ PB HC	3.5	895 ± 15	10 ± 0.1		1 402
	AKM	7.62 × 39 mm 57-N-231 FMJ PB MSC	7.9	720 ± 15	10 ± 0.1		2 048
BR5	SVD 狙击步枪	7.62 × 54 mm 7N13 AP FMJ PB HC	9.4	830 ± 15	10 ± 0.1		3 238
		7.62 × 54 mm 7-BZ-3 API FMJ PB HC	10.4	810 ± 15	10 ± 0.1		3 412
BR6	QSW-96	12.7 × 108 mm 57-BZ-542 API FMJ PB HC	48.2	830 ± 20	50 ± 0.5		16 602
S	刺刀						49 ± 1
S1	猎枪	18.5 mm SC	34 ± 1	400 ± 10	5 ± 0.1	17	2 720
S2	模拟破片	φ6.35 mm MSC	1.05				

1.1.4 HOSDB-2017 警用防弹衣标准

英国内政科学发展部于1993年发布警用防弹衣标准第1版,经历了20多年的修改和完善,于2017年发布最新的防弹衣标准^[23],该标准将防弹衣防护等级划分为HO1~HO4四个等级和防霰弹枪SG1级,此外还将.357 Magnum和SS109两种弹丸列为特殊级别,如表5所示。HO1、HO2级防弹衣用来抵御手枪弹丸威胁,这两个级别防御的枪弹类型相同,弹速不同。HO3、HO4级防弹衣用来抵御步枪弹丸威胁。相对于2007版防弹标

准^[24],新标准HO3等级增加了AK47射击M43弹丸(7.62×39 mm)的测试。最高防护级别HO4测试弹丸为7.62×51 mm SAKO公司生产的.308 Win 480A POWERHEAD全铜开尖弹,该弹为全铜制造,在弹尖处有开口,并加装塑料风帽,此风帽在侵彻过程中辅助弹头扩张,该弹头结构较为特殊,形貌如图1所示。特殊级别中的3种武器弹药未在英国警察队伍中列装,因此将其归纳为特殊级别。该标准对靶板背痕深度要求随防护等级不同而有变化,如表5所示。

表5 英国HOSDB-2017防弹衣标准防护等级划分

Table 5 Protection rating in HOSDB Body Armor Standard 2017 (UK)

防护等级	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)	射距/m	背痕凹陷平均深度最大值/mm	背痕凹陷深度最大值/mm	初始动能/J
HO1	9×19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	365 ± 10	5		44	533
	9×19 mm JHP SC	8.0	365 ± 10				533
HO2	9×19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	430 ± 10	5		44	740
	9×19 mm JHP SC	8.0	430 ± 10				740
HO3	7.62×51 mm FMJ PB SC	9.3	830 ± 10	10	25	30	3 203
	7.62×39 mm FMJ PB MSC	7.9	705 ± 10				1 963
HO4	7.62×51 mm	10.7	820 ± 15	10	25	30	3 597
	萨科 480A POWERHEAD FMs						
SG1	12号霰弹	28.4	435 ± 25	10	25	30	2 687
特殊级别	.357 Magnum FMJ * 1 FN SC	10.2	390 ± 10	5		44	776
			455 ± 10				1 056
	5.56×45 mm SS109 FMJ * 1 PB SCP	4.01	920 ± 15	10	25	30	1 697
	5.56×45 mm LE223T1 FMJ * 1 PB SCP	4.01	750 ± 15	10	25	30	1 128



图1 SAKO公司.308 Win 480A POWERHEAD弹头形貌
Fig.1 Macroscopic feature of .308 Win 480A Powerhead

1.1.5 SCHUTZKLASS 防弹衣标准2008版

SCHUTZKLASS 防弹衣标准2008版是德国应用较多的防弹标准之一,该标准将防弹衣及插板防弹能力分为SKL~SK4五个等级^[25],各等级划分及射击条件如表6所示。防弹衣插板测试样品的尺寸要求为350 mm×400 mm,该标准没有样品浸水后的射击要求,但有接触性射击测试要求,有别于其他防弹标准。抗弹性能要求弹丸未穿透样品,弹坑部位未出现可视性通透裂纹,且样品背部弹痕深度 <

42 mm。

1.1.6 GA 141-2010 警用防弹衣

我国防弹标准的制定相较于欧美等国家起步稍晚,但经过20多年的发展已经较为完善。防弹衣标准现行版本为2010年发布的GA 141—2010《警用防弹衣》标准,该标准将防弹衣防护等级划分为6级,如表7所示,并对防弹衣的试验方法和检验规则做了详细要求^[33-34],1~4级防护等级测试弹丸均为手枪弹丸,初始动能在249~753 J之间,3级防护和4级防护测试弹丸尺寸结构相同,但二者弹心材质不同,4级防护测试弹丸为钢心弹,其侵彻能力优于具有相同初始动能的3级防护测试弹丸。5级防护测试弹丸为7.62×39 mm全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹,弹丸初始动能2 116 J,该防护级别接近NIJ 0101.07中的RF1级。6级防护测试弹丸为7.62×54 mm全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹,弹丸初始动能3 307 J。该标准对样品防弹性能要求为所有弹头未穿透防弹衣,无可视性通透裂纹,且背痕深度

≤25 mm, 低于美国 NIJ0101.06 标准(≤44 mm)背痕深度。对测试样品进行高低温和浸水湿热环境预处

理后称为旧防弹衣。浸水实验时长 30 min, 高温实验温度为 70 °C ± 2 °C, 相对湿度 80%, 处理时长 240 h。

表 6 德国 SCHUTZKLASSE 防弹标准(2008)防护等级划分

Table 6 Protection rating in SCHUTZKLASSE standard for bullet resistance (2008) (German)

防护等级	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)	射距/m	各射击条件下每靶片射击次数						初始动能/J
					射角 0°	射角 65°	接触射击	气候测试	-20 °C 测试	70 °C 测试	
SKL	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0 ± 0.1	360 ± 10	5	3	3	3	3	3	3	518
	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0 ± 0.1	415 ± 10	5	3	3	3	3	3	3	689
SK1	9 × 19 mm QD-PEP II /s MEN	6.0 ± 0.1	460 ± 10	5	0	3	3	0	0	0	635
	9 × 19 mm Action4 RUAG	6.1 ± 0.1	460 ± 10	5	0	3	3	0	0	0	645
SK2	.357 Magnum FMs CB	7.1 ± 0.1	580 ± 10	5	3	3	0	3	3	3	1 194
SK3	5.56 × 45 mm SS109 FMJ * 1 PB SCP	4.0 ± 0.1	950 ± 10	10	3	3	0	3	3	3	1 805
	7.62 × 51 mm DM111 FMJ PB SC	9.55 ± 0.1	830 ± 10	10	3	3	0	3	3	3	3 289
	7.62 × 51 mm P80 AP FMJ PB HC	9.70 ± 0.2	820 ± 10	10	3	3	0	3	3	3	3 261

表 7 警用防弹衣防护等级划分

Table 7 Police ballistic resistance of body armor protection rating

防护等级	适用枪型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	射速/(m·s ⁻¹)	射距/m	样品状态	每靶片射击次数			初始动能/J
							0°	30°	45°	
1	64/77 式 7.62 mm 手枪	7.62 × 17 mm FMJ * 1 RN SC	4.87	320 ± 10	5	新	4	1	1	249
						旧	3	0	0	
2	54 式 7.62 mm 手枪	7.62 × 25 mm FMJ RN SC	5.6	445 ± 10	5	新	4	1	1	554
						旧	3	0	0	
3	79 式 7.62 mm 轻型冲锋枪	7.62 × 25 mm FMJ RN SC	5.6	515 ± 10	5	新	4	1	1	743
						旧	3	0	0	
4	79 式 7.62 mm 轻型冲锋枪	7.62 × 25 mm FMJ RN MSC	5.68	515 ± 10	15	新	6	0	0	753
						旧	3	0	0	
5	56 式/81 式 7.62 mm 步枪	7.62 × 39 mm FMJ PB MSC	8.05	725 ± 10	15	新	6	0	0	2 116
						旧	3	0	0	
6	79/85 式 7.62 mm 狙击步枪	7.62 × 54 mm FMJ PB MSC	9.6	830 ± 10	15	新	2	0	0	3 307

1.1.7 防护等级对比与分析

以防护级别为横坐标, 弹丸初始动能为纵坐标, 对上述 6 个常用防弹衣标准各防护等级的侵彻弹丸初始动能进行对比和分析, 结果如图 2 所示, 同一等级中若测试 2 种或 3 种枪弹, 对比时选用这几种弹丸动能的最大值, 未将猎枪、霰弹枪、破片等防护级别列入图 2。

从弹丸初始动能来看, 目前防弹衣防弹标准中防护级别最高的是俄罗斯 GOST 34286—2017 标准中的 6 级防护, 测试弹丸为 12.7 × 108 mm 全金属钢被甲尖头穿甲燃烧弹, 弹头质量 48.2 g, 弹丸初始动能 16 602 J, 明显高于其他标准中测试弹丸的初始动

能; 其次为美国 NIJ 0101.07 标准中的 RF3 级和 NIJ 0101.06 中的 IV 级, 测试弹丸均为 .30-06 全金属铜被甲尖头穿甲弹, 该弹丸尺寸为 7.62 × 63 mm, 弹头质量 10.7 g ± 0.1 g, 弹丸初始动能 4 124 ~ 4 163 J。我国 GA 141—2010 标准最高防护 6 级测试枪弹为 79/85 式狙击步枪发射 53 式 7.62 × 54 mm 全金属钢被甲尖头钢心弹, 弹头质量 9.6 g, 弹丸初始动能 3 307 J。图 2 表明, 我国防弹标准中手枪和步枪各防护等级测试弹丸的初始动能均比国外同等级偏低。

从各等级测试弹丸结构和材质看, 中、俄、德三国测试弹丸多用全金属覆铜钢被甲弹丸, 俄罗斯测

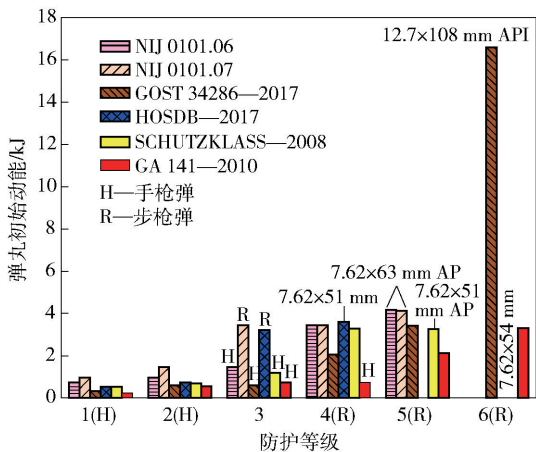


图2 常用防弹衣各防护等级弹丸初始动能对比

Fig. 2 Comparison of muzzle kinetic energy on body armor protection levels

试弹丸弹心大多为强化钢心弹,硬度较高,侵彻能力较强,而且BR5-BR6级测试弹丸采用含有燃烧剂的穿甲燃烧弹,穿甲毁伤作用更大。我国测试弹丸弹心材质多为低碳钢,弹心硬度偏低,英、美两国防弹标准各等级测试多采用全金属铜被甲弹丸,弹丸弹心材质多为铅合金,硬度较低。俄罗斯GOST 34286—2017标准在BR3防护等级中测试手枪弹丸为 9×19 mm的穿甲弹,弹丸初始动能虽然只有588 J,但其弹心硬度高,穿透能力好,因此威胁程度高于其他标准同级别手枪弹丸。

对比各国防弹衣标准防护等级,我国GA 141—2010标准中5级防护能力介于NIJ 0101.06标准的ⅢA级与Ⅲ级之间,接近NIJ 0101.07标准的RF1级和HOSDB—2017标准中的HO3级,略低于GOST 34286—2017标准的BR4级;GA 141—2010标准中6级防护能力接近NIJ 0101.07中的RF2级和德国SCHUTZKLASS—2008标准中的SK3级,介于GOST 34286—2017标准中的BR4与BR5级之间,低于HOSDB—2017标准中的HO4级。我国军用防弹衣标准GJB 4300A—2012最高防护等级的测试弹丸为 7.62×54 mm穿甲燃烧弹^[55],该弹丸弹头质量10.45 g,初始动能3 428 J,该等级防护能力接近NIJ 0101.07标准中的RF3级,GOST 34286—2017标准中的BR5级,优于HOSDB—2017标准中的HO4级和SCHUTZKLASS—2008标准中的SK4级。除上述6部防弹标准外,北约制定发布的STANAG 2920个人装甲材料和防弹衣弹道测试方法也是经常用到的防弹标准^[31],该标准主要用来测试样品抵御子弹、破片、飞镖3种侵彻体的 v_{50} 值,并

未进行防护等级划分,因此本文未将该标准列入对比分析中。

经过上述对比与分析可知,我国GA 141—2010标准中各防护等级测试弹丸初始动能均低于其他国家防弹标准中同级别测试弹丸,同等级测试弹丸种类也少于国外防弹标准,一部分原因是由于国内外制式枪弹类型、私有枪支数量、枪击案件发生率、防护装备使用环境等因素有差异所导致。

1.2 防弹头盔

防弹头盔是用于保护头部免受弹丸或炮弹破片伤害的一种单兵防护装备,其防护能力对提高被保护人员的生存能力、减少伤亡至关重要。随着材料发展,防弹头盔的制作材料也由开始的金属材料逐渐发展成为芳纶、超高分子聚乙烯纤维、纤维增强型树脂基等复合材料^[56-59]。

1.2.1 NIJ 0106.01 防弹头盔标准

随着枪弹威胁程度的加剧,美国司法协会修订完善了NIJ 0106.01防弹头盔标准,对防弹头盔必须满足的性能做了相关规定及要求,头盔的防弹性能等级划分如表8所示。该标准将防弹头盔划分为I级、II A级、II级和III A级。I级防御的弹丸威胁和NIJ 0101.04A防弹标准中I级相同。II A和II级要求防御的枪弹类型一致,弹速不同,产生不同的初始动能来划分防弹头盔的防护能力。III A级是修订后增加的防护级别,防御弹丸威胁和NIJ 0101.06中III A相同。防弹头盔标准NIJ 0106.01修订版综合了防弹衣标准NIJ 0101.04A和NIJ 0101.06中手枪弹丸威胁的防护等级^[14-15,19]。

该标准要求每个防护等级的两种枪弹类型均要测试,每个头盔在常温下接受4次射击,弹着点位置分别为头盔的前后左右的中间区域,4次射击结束后,如果未发生穿透和通透性裂纹,则对第2个经过浸水实验预处理后的头盔进行上述射击实验,防弹性能要求与常温下头盔相同。

1.2.2 GA293—2012 警用防弹头盔及面罩

GA293—2012《警用防弹头盔及面罩》标准将防弹头盔防护能力划分为两个等级,如表9所示,每个等级只需测试一种弹丸即可。该标准各等级防弹性能要求每个头盔射击次数5次,比NIJ 0106.01标准射击次数多1发。弹着点位置分别为头盔前后左右头顶各1发,弹丸有效击中目标后,弹击面背部未出现穿透或看不到弹头,弹坑背痕高度 ≤ 25 mm,弹着点间距及距边缘距离 ≥ 50 mm,且悬挂缓冲系统无零件脱落。

对防弹面罩的防弹要求为:按表9中规定的防

表 8 防弹头盔 NIJ 0106.01 (修订版) 防弹标准等级划分

Table 8 Protection rating in NIJ Standard 0106.01 for Ballistic Helmet (modified) (US)

防护等级	测试弹丸类型	弹头公称质量/ g	弹速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	射距/m	射角/ $(^\circ)$	每件射击次数		初始动能/J
						常温	浸水处理	
I	.22 LRHV SC	2.6	320 ± 12	5	0	4	4	133
	.38 Special FMJ * 1 RN SC	10.2	259 ± 15					342
II A	.357Magnum JSP SC	10.2	381 ± 15	5	0	4	4	740
	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	332 ± 15					441
II	.357Magnum JSP SC	10.2	425 ± 15	5	0	4	4	921
	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	358 ± 15					513
III A	.357 SIG FMJ * 1 FN SC	8.1	448 ± 15	5	0	4	4	813
	.44 Magnum SJHP SC	15.6	436 ± 15					1 483

表 9 防弹头盔防护等级划分

Table 9 Bulletpro of helmets protection rating

防护等级	适用枪型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	射速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	射距/m	射角/ $(^\circ)$	防弹头盔质量要求/g			初始动能/J
							金属	非金属	复合	
1 级	64/77 式 7.62 mm 手枪	7.62 × 17 mm FMJ * 1 RN SC	4.87	320 ± 10	5	0	≤1 400	≤1 100	≤1 300	249
	9 mm 警用转轮手枪	9 × 18 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	220 ± 10	5	0				194
2 级	54 式 7.62 mm 手枪	7.62 × 25 mm FMJ RN SC	5.6	445 ± 10	5	0	≤2 100	≤1 500	≤1 750	554
	QSZ92 式 9 mm 手枪	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	360 ± 10	5	0				518

护等级测试,0°角正面射击一次,弹丸未穿透面罩,内侧无飞溅物,连接锁紧装置不能分离,弹着点距边缘距离 ≥ 30 mm。1级防护面罩要求质量 $\leq 1\ 200$ g,2级防护面罩要求质量 $\leq 1\ 500$ g。此外,GA 293—2012 标准对防弹头盔及面罩的耐水性能、高低温环境适应性、阻燃性能,对面罩的透光率、光畸变性能、防雾性能均做了要求^[38-39]。

1.2.3 防护等级对比与分析

如图 3 所示,对 NIJ 0106.01 (Modified) 防弹头盔、GA 293—2012 这两个标准中各防护等级弹丸初始动能进行比较,我国防弹头盔的防护等级划分数少于美国 NIJ0106.01 (Modified) 标准,且同级别弹丸初始动能也小于 NIJ0106.01 (Modified) 标准。在射击次数方面,我国 GA 293—2012 标准规定每顶头盔接受前、后、左、右、顶部共计 5 次射击,NIJ 0106.01 (Modified) 标准中规定每顶头盔只接受前、后、左、右 4 次射击即可,相对于 GA 293—2012 标准减少一次顶部射击。目前防弹头盔主要用来抵挡手枪弹或者低能量弹丸破片,对步枪弹或者高能量的弹丸破片,防弹头盔尚不能形成有效防护。NIJ 0106.01 (Modified) 标准同一个防护等级均需测试几种不同的弹丸威胁,GA 293—2012 标准每个等级只测试一种弹丸威胁,我国防弹标准可适当增加每个等级测试弹丸威胁的种类。此外,两个标准均

对阻燃、耐水等其他性能做了要求。

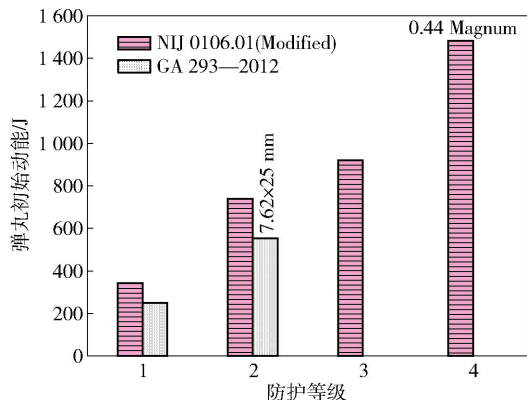


图 3 防弹头盔各防护等级弹丸初始动能对比

Fig. 3 Comparison of muzzle energy on the ballistic helmet protection levels

1.3 装甲防护车辆防弹标准

现代化装甲防护车辆既能为车内乘员在复杂恶劣的战场环境中提供有效的安全保障,又可以搭载配备侦察和攻击敌人的武器,因此成为现代战争中不可或缺的军事装备。装甲车辆防弹标准对相关车辆进行防弹能力等级划分,可以准确地帮助行动指挥者选择合适的装甲车辆应对危险环境中各种弹丸或破片的威胁^[1,60]。

1.3.1 STANAG 4569 装甲车辆乘员防护等级

北约是以美国为首的国际军事组织,该组织

制定发布的 STANAG 4569 装甲车辆乘员防护等级对轻型装甲车辆防弹抗爆性能进行等级划分^[32], 本文主要对标准中所测动能弹的防护等级进行对比分析。

该标准定义了装甲车辆抵抗动能弹和炮弹破片的 6 种防护级别, 如表 10 所示。测试弹丸口径范围从 5.56 ~ 30 mm 不等, 其中包括 AP、API、APDS、

APFSDS 等多种大口径弹丸, 5 级和 6 级防护测试弹药形貌如图 4 所示。模拟弹丸破片尺寸规格为 20 mm 级, 破片材质选用冷轧退火态 4337H 钢或 4340H 钢, 热处理后硬度 30 HRC ± 1 HRC。该标准中对动能弹的射击次数要求为 300 mm × 300 mm 区域内垂直靶面射击 3 次, 防弹性能要求为靶板未产生可视性裂纹且背面未产生飞溅碎片。

表 10 北约标准 STANAG 4569 对动能弹及破片的防护等级划分

Table 10 NATO STANAG 4569 protection rating for KE projectile and FSG

防护等级	武器类型	测试弹丸类型	弹头或碎片质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)	射距/m	射击方位	射击仰角/(°)	初始动能/J
1 级	步枪	5.56 × 45 mm M193 FMJ * 1 PB SC	3.56	937				1 563
		5.56 × 45 mm SS109 FMJ * 1 PB SCP	4	900	30	360°	0 ~ 30	1 620
		7.62 × 51 mm M80 FMJ * 1 PB SC	9.65	833	3 348			
	20 mm 滑膛弹道枪	20 mm FSP	52.73	520	100		0 ~ 18	7 129
2 级	步枪	7.62 × 39 mm FMJ PB HC API	7.77	695	30	360°	0 ~ 30	1 877
	20 mm 滑膛弹道枪	20 mm FSP	52.73	630	80		0 ~ 22	10 464
3 级	机枪或狙击步枪	7.62 × 51 mm M993 AP FMJ PB WC	8.4	930	30	360°	0 ~ 30	3 633
		7.62 × 54 mm B32 API FMJ PB HC	10.4	854	3 792			
	20 mm 滑膛弹道枪	20 mm FSP	52.73	770	60		15 632	
4 级	重机枪	14.5 × 114 mm B32 API FMJ PB HC	63.4	911	200	360°	0	26 308
	20 mm 滑膛弹道枪	20 mm FSP	52.73	960	25		0 ~ 90	24 298
5 级	25 mm 自动机关炮	25 × 137 mm APDS WC	121.5	1 258	500	射击目标中线至左右 30°角	0	96 141
		25 × 137 mm APFSDS WC	130	1 336				116 018
	20 mm 滑膛弹道枪	20 mm FSP	52.73	960	25	360°	0 ~ 90	24 298
6 级	30 mm 自动机关炮	30 × 165 mm AP HC	400	810	500	射击目标中线至左右 30°角	0	128 000
		30 × 173 mm APFSDS WC	237					
	20 mm 滑膛弹道枪	20 mm FSP	52.73	960	10	360°	0 ~ 90	24 298



图 4 北约防弹标准 STANAG 4569 中 5 级、6 级防护要求测试弹丸形貌对比

Fig. 4 Comparison of penetrator morphology of level 5&6 on the bulletproof standard STANAG 4569

STANAG 4569—2014 标准 1 级防护测试弹丸有 3 种, 分别是 M193、SS109、M80 弹, 该防护等级接近 NIJ0101.07 中 RF2 等级。2 级防护测试 7.62 × 39 mm 全金属覆铜钢被甲尖头穿燃弹, 弹头质量 7.77 g, 初始动能 1 877 J, 虽然弹丸初始能量不及

1 级防护测试 M80 弹, 但硬质钢心穿燃弹侵略破坏能力优于 M80 弹。此外, 所有等级测试弹速均略低于标准弹速该标准是目前国内外常用防弹标准中防护级别要求最高的标准之一。

1.3.2 GOST 34282—2017 装甲防护车辆通用技术要求

GOST 34282—2017《装甲防护车辆通用技术要求》于 2017 年发布^[22], 是俄罗斯专门针对装甲车辆进行防护能力评价的标准。此标准将防弹材料的防护级别划分为 BR1 ~ BR6 和防猎枪的 S1 共 7 个级别, 各防护等级测试所用武器弹药和 GOST 34286—2017《防弹衣分类和一般技术规范》相同, 如表 11 所示, 在 GOST 34286—2017《防弹衣分类和一般技术规范》基础上删掉了防刺级别和防破片级别。弹丸射击次数根据受测靶板面积来确定, 靶面积 ≤ 250 mm × 250 mm 时, 射击 1 发弹丸; 靶面积在 250 mm × 250 mm 至 500 mm × 500 mm 之间时, 射击 2 发弹丸; 面积 ≥ 500 mm × 500 mm 时, 射击 3 发弹

表 11 俄罗斯 GOST 34282 装甲专用车辆防护等级划分
Table 11 Armored cars protection rating in GOST 34282 standard (Russia)

防护级别	武器类型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/ ($m \cdot s^{-1}$)	射距/m	初始动能/J
BR1	9 mm 手枪	9 × 18 mm 57N181S FMJ * 1 RN MSC	5.9	335 ± 10	5 ± 0.1	331
BR2	9 mm 手枪 SR-1 vektor	9 × 21 mm 7N28 FMJ RN SC	7.93	390 ± 10	5 ± 0.1	603
BR3	雅利金 Pya 手枪	9 × 19 mm 7N21 AP SJOP HC	7.0	410 ± 10	5 ± 0.1	588
BR4	AK74	5.45 × 39 mm 7N10 AP FMJ PB HC	3.5	895 ± 15	10 ± 0.1	1 402
	AKM	7.62 × 39 mm 57-N-231 FMJ PB MSC	7.9	720 ± 15	10 ± 0.1	2 048
BR5	SVD 狙击步枪	7.62 × 54 mm 7N13 AP FMJ PB HC	9.4	830 ± 15	10 ± 0.1	3 238
		7.62 × 54 mm 7BZ3 API FMJ PB HC	10.4	810 ± 15	10 ± 0.1	3 412
BR6	QSW-96	12.7 × 108 mm 57BZ542 API FMJ PB HC	48.2	830 ± 20	50 ± 0.1	16 602
S1	18.5 mm 猎枪	12 号霰弹	34.0 ± 1.0	390 ~ 410	5 ± 0.1	2 720

丸,弹着点位置不做要求。射击方位为靶试目标的任意方位,射击角度为 0° 角。该标准对各等级防弹性能要求是未穿透靶板和背部不产生飞溅碎片即可。

1.3.3 VPAM-APR-2021 防弹标准

VPAM 防弹标准由德国独立评测机构——防弹材料和结构认证中心制定发布^[26]。该标准多用于装甲防护车辆的防弹能力评定,尤其在民用防弹车

辆领域应用较多,其他领域的防护装备也经常采用该标准进行防护等级测试。该标准根据测试子弹的威胁程度将防护材料细分为 10 个防护级别和一个特殊级,如表 12 所示,各等级测试弹丸口径从 5.5 ~ 14.5 mm,弹丸初始动能从 168 ~ 26 308 J。靶板弹着点位置要求为:500 mm × 500 mm 的区域内,射击次数为 3 次,3 个弹着点构成正三角形,且弹着点间距为 120 mm ± 10 mm。

表 12 VPAM-2021 防弹标准等级划分
Table 12 Protection rating in VPAM-2010 bulletproof standards

防护等级	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/ ($m \cdot s^{-1}$)	射距/m	射角/ ($^\circ$)	初始动能/J
1	.22 LR RN	2.6	360 ± 10	10 + 0.5	0	168
2	9 × 19 mm FMJ RN SC	8.0	360 ± 10	5 + 0.5	0	518
3	9 × 19 mm FMJ RN SC	8.0	415 ± 10	5 + 0.5	0	689
4	.357 Magnum FMJ CB SC	10.2	430 ± 10	5 + 0.5	0	943
	.44 Rem. Mag JSP FN SC	15.6	440 ± 10	5 + 0.5	0	1 510
5	.357 Magnum FMs CB	7.1	580 ± 10	5 + 0.5	0	1 194
6	7.62 × 39 mm FMJ PB MSC	7.9	720 ± 10	10 + 0.5	0	2 048
7	5.56 × 45 mm SS109 FMJ PB SCP	4.0	950 ± 10	10 + 0.5	0	1 805
	7.62 × 51 mm DM111 FMJ PB SC	9.55	830 ± 10	10 + 0.5	0	3 289
8	7.62 × 39 mm API FMJ PB HC(弹心硬度 65HRC)	7.7	740 ± 10	10 + 0.5	0	2 108
9	7.62 × 51 mm AP FMJ * 1 PB HC(弹心硬度 62 HRC ± 2 HRC)	9.6	820 ± 10	10 + 0.5	0	3 228
10	7.62 × 54 mm B32 API FMJ PB HC(弹心硬度 63 HRC)	10.4	860 ± 10	10 + 0.5	0	3 846
特殊测试等级	12.7 × 99 mm AP FMJ PB WC(弹心硬度 55 HRC ± 2 HRC)	45.5	860 ± 20	10 + 0.5	0	16 826
	14.5 × 114 mm B32 API FMJ PB HC(弹心硬度 63 HRC)	63.4	911 ± 20	10 + 0.5	0	26 308
	12/70 霰弹枪铅弹	31.0 ± 0.5	420 ± 20	10 + 0.5	0	2 734
	3.6 mm FSP	0.325	220 ± 5	5 ± 0.5	0	8

VPAM-APR-2021 标准 9 级防护测试弹药为 7.62 × 51 mm P80 穿甲弹, 弹丸被甲材质为全金属铜被甲, 弹心为硬质钢心, 弹头公称质量 9.6 g, 而 SCHUTZKLASS 防弹衣标准 2008 版 SK4 级防护测试弹药同样为 7.62 × 51 mm P80 穿甲弹, 弹丸被甲材质为全金属覆铜钢被甲, 弹心为硬质钢心, 弹头公称质量 9.7 g ± 0.2 g。

1.3.4 GA 164—2018 专用运钞车防护技术要求

GA 164—2018《专用运钞车防护技术要求》标准对运钞车防弹性能划分为两类, 其中 A 级、B 级测

试枪弹为 79 式 7.62 mm 轻型冲锋枪发射 DAP51B 式 7.62 × 25 mm 全金属覆铜钢被甲圆头钢心弹, 弹丸初始动能为 753 J; C 级防护抗弹性能试验为 56 式冲锋枪发射 7.62 × 39 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹, 弹丸初始动能为 2 116 J。等级划分和射击条件要求如表 13 所示, 防弹性能要求为对运钞车驾驶舱、水箱、油(电源)箱射击时子弹未穿透, 且透明防护板内侧不产生飞溅物。除运钞车驾驶舱门射击孔处的射击次数为 1 次外, 其余防弹受试部位均为 3 发弹。该标准对弹着点位置做了一定要求^[35]。

表 13 运钞车防弹性能等级划分

Table 13 Protection rating for cash transport vans

防护等级	适用枪型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)	射距/m	射角/(°)	初始动能/J
A 级	79 式 7.62 mm 轻型冲锋枪	7.62 × 25 mm DAP51B FMJ RN MSC	5.68	515 ± 10	10	0	753
B 级							
C 级	56 式冲锋枪	7.62 × 39 mm (FMJ PB MSC)	8.05	725 ± 10	10	0	2 116

1.3.5 GA 668—2006 警用防暴车通用技术条件

根据 GA 668—2006《警用防暴车通用技术条

件》, 对该类型车辆的防弹性能划分为 A 级、B 级、C 级三个等级^[41], 如表 14 所示。

表 14 警用防暴车防弹性能等级划分

Table 14 Bulletproof performance rating for police anti-riot vehicles

防护等级	适用枪型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)	射距/m	射角/(°)	射击部位及射击弹数	玻璃部位弹着点距离/mm	装甲部位弹着点距离/mm	初始动能/J
A 级	79 式 7.62 mm 微冲	7.62 × 25 mm FMJ RN MSC	5.68	480 ~ 530	10	0	车体各部			753
B 级	56 式 7.62 mm 冲锋枪	7.62 × 39 mm FMJ PB MSC	8.05	710 ~ 725	15	0	位 3 发,	100 ± 20	50 ± 20	2 116
C 级	95 式 5.8 mm 步枪	5.8 × 42 mm FMJ PB MSC	4.15	920 ~ 960	20	0	轮胎 1 发	150 ± 20	100 ± 30	1 795

A 级防护和 GA 164—2018 标准中的 A 级、B 级相同, 测试弹丸为 7.62 × 25 mm 全金属覆铜钢被甲圆头钢心弹; B 级防护测试弹丸 56 式 7.62 × 39 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹, 弹头质量 8.05 g, 弹头直径和长度分别为 7.62 mm 和 26.8 mm, 长径比约为 3.5。C 级防护测试弹丸为 DBP87 式 5.8 × 45 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹, 弹头质量 4.15 g, 弹头直径和长度分别为 5.8 mm 和 25 mm, 长径比约为 4.3, 在一定范围内, 长径比与侵彻能力正相关^[44], 5.8 mm 弹丸穿透性能更好, 造成的威胁程度更大, 因此防护级别的判定还与测试弹丸的结构相关。

1.3.6 防护等级对比与分析

图 5 为装甲防护车辆常用防弹标准各防护等级测试弹丸初始动能的对比, STANAG 4569—2014 标准中 5 级和 6 级炮弹初始动能分别是 96 141 J 和

186 543 J, 远高于其他防护等级的初始动能, 未在图 5 中列出。STANAG 4569 标准中的 2 级和 VPAM-APR-2021 标准中的 8 级测试弹丸均为 7.62 × 39 mm 全金属被甲尖头穿燃弹, 弹丸初始动能虽然较低, 但穿甲弹弹心硬度约 65HRC, 且弹头内部装有燃烧剂, 其威胁程度高于 M80 或 SS109 弹。因此防护级别的高低还与测试弹丸的弹心材质有关。STANAG 4569 三级测试弹丸为 7.62 × 51 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心穿甲弹和 7.62 × 54 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心穿燃弹, 弹丸初始动能分别为 3 633 J 和 3 792 J。GOST 34282—2017 防弹标准 BR5 级和 VPAM-APR-2021 标准 10 级测试弹丸同为 7.62 × 54 mm 全金属覆铜钢被甲尖头穿燃弹, 但二者要求弹速不同, 因此侵彻穿透能力不同。STANAG 4569—2014 是目前轻型装甲防护车辆防弹标准中等级要求最高的标准之一。

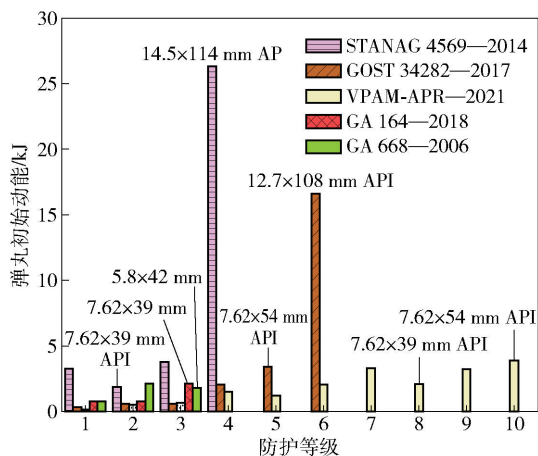


图 5 装甲车辆常用防弹标准各等级测试弹丸初始动能对比

Fig. 5 Comparison of muzzle energy from the testing of armor vehicle protection levels in the commonly used ballistic standards

国内标准对运钞车和警用防暴车的防弹水平要求较低,最高防护级别为 GA 668—2006《警用防暴车通用技术条件》标准中 C 级,测试枪弹为 95 式步枪射击 5.8 × 42 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹,弹丸初始动能 1 795 J,其防护水平接近于 STAN-AG 4569—2014 一级和 VPAM-APR-2021 的 7 级,介于俄罗斯 GOST 34282—2017 中的 BR4 和 BR5 级之间。

1.4 透明材料或其他防护设备

1.4.1 设备防弹标准 UL 752

美国的防弹标准除了 NIJ 系列之外,另外一个较为常用的防弹标准是 UL 752。该标准由美国保险商实验室制定发布^[20],主要用于评定透明材料、建筑物、防弹车辆等设备的防护能力,共划分 10 级和一个 S 级,如表 15 所示。

此标准对靶板弹着点位置,测试样品数量,测试靶板温度分别作了不同的规定。对测试防护样品的

表 15 设备防弹标准 UL 752 防护能力等级划分

Table 15 Bullet resistance equipment standard UL752 protection rating

防护等级	武器类型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/(m·s ⁻¹)	射距/m	每件射击次数	初始动能/J
1	9 mm 手枪	9 × 19 (mm) FMJ * 1 RN SC	8.0	358	4.6	3	513
2	.357Magnum 高能手枪	.357Magnum JSP SC	10.2	381	4.6	3	740
3	.44Magnum 超能手枪	.44Magnum 带气罩半冲孔弹 SC	15.6	411	4.6	3	1 318
4	.30-06 运动狩猎步枪	.30-06 SP SC	11.7	774	4.6	1	3 505
5	.308 温彻斯特狩猎步枪	7.62 × 51 mm FMJ * 1 PB SC	9.7	838	4.6	1	3 406
6	9 mm Uzi 冲锋枪	9 × 19 mm FMJ * 1 RN SC	8.0	427	4.6	5	729
7	M16 步枪	5.56 × 45 mm M193 FMJ * 1 PB SC	3.56	939	4.6	5	1 569
8	M14 步枪	7.62 × 51 mm M80 FMJ * 1 PB SC	9.7	838	4.6	5	3 406
9	M1 式加兰德步枪	7.62 × 63 mm M2 AP FMJ PB HC	10.8	828	4.6	1	3 702
10	狙击步枪 M82A1	12.7 × 99 mm FMJ * 1 PB SC	45.9	856	4.6	1	16 816
SG	12 号霰弹枪	12 号膛线铅弹	28.3	483	4.6	3	3 301
		12 号 00 铅弹	42	366	4.6	3	2 813

防弹性能要求是弹丸未穿透样品,背部未产生碎片或产生的少量碎片未对靶板背部 457 mm 处的瓦楞纸板(厚度 3.2 mm)产生损坏。样品尺寸 305 mm × 305 mm,除此之外,对靶板弹着点的位置做了要求。防护等级 1~3 要求 3 个弹着点构成一个三角形,且每两个弹着点至少间隔 102 mm ± 12.7 mm。从初始动能来看,4 级、5 级测试弹丸的初始动能明显高于 6 级和 7 级,但射击弹丸数量和射击位置要求不同。4 级、5 级的弹丸射击数量各为 1 发,弹着点在靶板中间位置;6 级、7 级、8 级的弹丸射击数量各为 5 发,且弹着点要求落在边长 114 mm 的正方形 4 个

顶角和中心位置,对防弹材料的抗弹性能是一个非常苛刻的要求。因此即使 4 级、5 级的初始动能高于 6 级、7 级,但抗弹性能仍低于 6 级、7 级防弹材料,表明等级防护能力的划分与弹着点的位置和单位面积的射击次数也有一定关系。

1.4.2 EN 1063—1999 防弹标准

EN 1063—1999《建筑物玻璃、安全玻璃、防弹玻璃实验和分类》是欧洲标准委员会为评价透明材料的抗弹性能而制定的防弹标准^[28],是目前欧盟成员国应用最多的防弹标准之一,防护能力等级划分如表 16 所示。该标准将靶板材料防护性能划分为 7 级。

EN 1063 前3个级别测试弹丸和 EN 1522 相同;EN 1063 中的 BR5 级只需测试 .44 Magnum 全金属铜被甲平头铅心弹,而 EN 1522 中的 FB4 级需测试 .357 Magnum 全金属覆铜钢被甲尖锥铅心弹和 .44 Magnum 全金属铜被甲平头铅心弹;EN 1063 中的 BR5 级和 EN 1522 中的 FB5 级均需测试 SS109 弹;EN 1063

中的 BR6 级只测试 M80 弹,而 EN 1522 中 FB6 级则需分别测试 M80 弹和 SS109 弹;两个标准中的最高防护级别 BR7 级和 FB7 级相同,测试 7.62×51 mm 穿甲弹。EN 1063 将霰弹枪威胁等级列为 SG1 和 SG2 两个级别,2019 版未正式发布。每件靶板的射击次数除 SG1 为 1 发弹外,其余均为每块靶板 3 发弹。

表 16 EN 1063 防弹标准防护能力等级划分
Table 16 Protection rating in EN1063 bulletproof standard

防护等级	武器类型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/ ($m \cdot s^{-1}$)	射距/m	每件射击次数	相邻弹着点位置要求/mm	初始动能/J
BR1	手枪	.22 LR RN SC	2.6 ± 0.1	360 ± 10	10 ± 0.5	3	120 ± 10	168
BR2	手枪	9×19 mm FMJ RN SC	8.0 ± 0.1	400 ± 10	5 ± 0.5	3	120 ± 10	640
BR3	手枪	.357 Magnum FMJ CB SC	10.2 ± 0.1	430 ± 10	5 ± 0.5	3	120 ± 10	943
BR4	手枪	.44 Magnum FMJ * 1 FN SC	15.6 ± 0.1	440 ± 10	5 ± 0.5	3	120 ± 10	1 510
BR5	步枪	5.56×45 mm SS109 FMJ * 1 PB SCP	4.0 ± 0.1	950 ± 10	10 ± 0.5	3	120 ± 10	1 805
BR6	步枪	7.62×51 mm M80 FMJ PB SC	9.5 ± 0.1	830 ± 10	10 ± 0.5	3	120 ± 10	3 272
BR7	步枪	7.62×51 mm FMJ * 1 PB HC (弹心硬度 ≥ 63 HRC)	9.8 ± 0.1	820 ± 10	10 ± 0.5	3	120 ± 10	3 295
SG1	霰弹枪	12 号铅心弹	31.0 ± 0.5	420 ± 20	10 ± 0.5	1	-	2 734
SG2						3	125 ± 10	

1.4.3 EN 1522—1998 防弹标准

EN 1522—1998 窗、门、锁扣防弹要求和分类是欧洲标准委员会 1998 年发布的防弹标准,主要用于对非透明装甲材料的防弹能力进行评定^[27]。防护等级分类如表 17 所示。FB1 ~ FB4 为防护手枪弹丸威胁的等级,弹丸初始动能在 168 ~ 1 510 J 之间。

FB5 ~ FB7 为防护步枪弹丸威胁的等级,弹丸初始动能在 1 805 ~ 3 294 J 之间。该标准最高等级 FB7 测试弹丸 7.62×51 mm 全金属铜被甲尖头穿甲弹,初始动能为 3 294 J,弹心硬度 63 HRC,仅从测试弹丸威胁程度来看,介于 UL752 标准 8 级与 9 级之间。该标准将霰弹枪威胁单独列为 FSG 级。

表 17 EN 1522—1998 标准防弹等级分类
Table 17 Protection rating in EN 1522—1998 bulletproof standard

防护等级	武器类型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	弹速/ ($m \cdot s^{-1}$)	射距/m	初始动能/ J
FB1	步枪	.22LR RN SC	2.6 ± 0.1	360 ± 10	10 ± 0.5	168
FB2	手枪	9×19 mm FMJ RN SC	8.0 ± 0.1	400 ± 10	5 ± 0.5	640
FB3	手枪	.357 Magnum FMJ CB SC	10.2 ± 0.1	430 ± 10	5 ± 0.5	943
FB4	手枪	.357 Magnum FMJ CB SC	10.2 ± 0.1	430 ± 10	5 ± 0.5	943
	手枪	.44 Rem. Magnum FMJ * 1 FN SC	15.6 ± 0.1	440 ± 10	5 ± 0.5	1 510
FB5	步枪	5.56×45 mm FMJ * 1 PB SCP	4.0 ± 0.1	950 ± 10	10 ± 0.5	1 805
FB6	步枪	5.56×45 mm FMJ * 1 PB SCP	4.0 ± 0.1	950 ± 10	10 ± 0.5	1 805
	步枪	7.62×51 mm FMJ PB SC	9.5 ± 0.1	830 ± 10	10 ± 0.5	3 272
FB7	步枪	7.62×51 mm AP FMJ * 1 PB HC(弹心硬度 ≥ 63 HRC)	9.8 ± 0.1	820 ± 10	10 ± 0.5	3 295
FSG	霰弹枪	铅弹	31 ± 0.5	420 ± 20	10 ± 0.5	2 734

1.4.4 GA 165—2016 防弹透明材料

我国对防弹透明材料制定的最新防护标准为 GA 165—2016《防弹透明材料》^[36-37]。该标准将防弹透明材料的防护性能分为 6 级,如表 18 所示。1 级、2 级测试枪弹类型和 GA 141—2010《警用防弹衣》标准相同;3 级防护测试枪弹类型为 79 式 7.62 mm 微型冲锋枪发射 7.62 × 25 mm 全金属覆铜钢被甲圆头钢心弹;4 级防护测试弹丸 7.62 × 39 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹,其弹丸威胁程度介于 EN 1063 标准 BR4 级与 BR5 级之间,

EN 1522 标准 FB4 级与 FB5 级之间;5 级防护测试弹药为 7.62 × 54 mm 全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹,其弹丸威胁程度接近于 EN 1063 标准 BR6 级和 EN 1063 标准 FB6 级;最高防护级别为 6 级,测试枪弹类型为 85 式 7.62 mm 狙击步枪射击 7.62 × 54 mm 穿甲燃烧弹,弹丸威胁程度高于 EN 1063 和 EN 1522 防弹标准最高等级防护测试弹丸。由于 UL 752 对弹着点位置和弹击次数做了特殊要求,未将 GA 165—2016 标准中各防护等级与 UL 752 各等级作比较。

表 18 防弹透明材料防弹性能等级划分

Table 18 Ballistic transparent material protection rating

防护等级	适用枪型	测试弹丸类型	弹头公称质量/g	射速/(m·s ⁻¹)	射距/m	射角/(°)	每件射击次数	初始动能/J
1 级	64/77 式 7.62 mm 手枪	7.62 × 17 mm FMJ * 1 RN SC	4.87	320 ± 10	3	0	3	249
2 级	54 式 7.62 mm 手枪	7.62 × 25 mm FMJ RN MSC	5.6	445 ± 10	5	0	3	554
3 级	79 式 7.62 mm 微型冲锋枪	7.62 × 25 mm FMJ RN MSC	5.68	515 ± 10	5	0	3	753
4 级	56 式/81 式 7.62 mm 步枪	7.62 × 39 mm FMJ PB MSC	8.05	720 ± 10	15	0	3	2 087
5 级	79/85 式 7.62 mm 狙击步枪	7.62 × 54 mm FMJ PB MSC	9.6	830 ± 10	15	0	1	3 307
6 级	85 式 7.62 mm 狙击步枪	7.62 × 54 mm FMJ PB HC API	10.45	810 ± 10	15	0	1	3 428

该标准要求弹头或弹片未穿透靶板,同一防护级别中如靶板背面有飞溅物但没有穿透测试瓦楞纸板,定义为 A 类防弹级别,如靶板背面无飞溅物则定义为 B 类防弹级别。此外,标准中对靶板的靶试实验环境温度做 4 个等级划分,分别为 I 级(0 °C, 40 °C)、II 级(-10 °C, -55 °C)、III 级(-25 °C, -55 °C)、IV 级(-55 °C, -85 °C),高低温处理时间均为 3 h。

1.4.5 GA 423—2015 警用防弹盾牌

防弹盾牌根据产品结构一般分为手持式盾牌和轮式盾牌。GA 423—2015《警用防弹盾牌》防护等级划分和测试枪弹与 GA 141—2010《警用防弹衣》相同,如表 7 所示,但射击次数不同,每块盾牌常温下射击次数为盾体 9 次,观察窗 1 次,射击孔盖板 1 次,共计 11 发,高低温和浸水后的射击次数如表 19 所示。对盾牌防弹性能要求为弹丸有效击中目标后,弹击面背部未出现通孔或通透性裂纹。高温处理温度为 55 °C 中保持 3 h,取出后 5 min 之内完成射击实验,低温处理温度为 -22 °C 中保持 3 h,取出后 5 min 之内完成射击实验。

GA 423—2015《警用防弹盾牌》对防护面积和盾牌质量、弹着点位置做了要求,手持式盾牌防护面积 ≥ 0.16 m²,单个盾牌质量 ≤ 6 kg;轮式盾牌防护面

积 ≥ 0.5 m²,防护等级 6 级的单个盾牌质量 ≤ 35 kg,其余单个盾牌质量 ≤ 28 kg。此外,还应对其进行阻燃性能检验、漆膜附着力检验、把手与盾体之间连接强度检验等^[40]。

表 19 警用防弹盾牌射击实验要求

Table 19 Shooting experiment requirements of police ballistic shields

防护等级	射击部位	射距/m	射角/(°)	射击次数			
				常温	高温	低温	浸水
1~4	盾体	5	0	9	3	3	3
	观察窗	5	0	1	1	1	1
	射击孔盖板	5	0	1	1	1	1
5~6	盾体	15	0	9	3	3	3
	观察窗	15	0	1	1	1	1
	射击孔盖板	15	0	1	1	1	1

1.4.6 防护等级对比与分析

图 6 为透明材料或其他防护设备防弹标准中各等级测试弹丸初始动能的对比,从弹丸侵彻能量上来看,此类防弹标准最高防护级别是美国 UL 752 防弹标准中的 10 级防护,测试弹丸为 12.7 × 99 mm 全金属铜被甲尖头铅心弹,弹丸初始动能 16 816 J。

我国此类防弹标准中的最高防护级别是

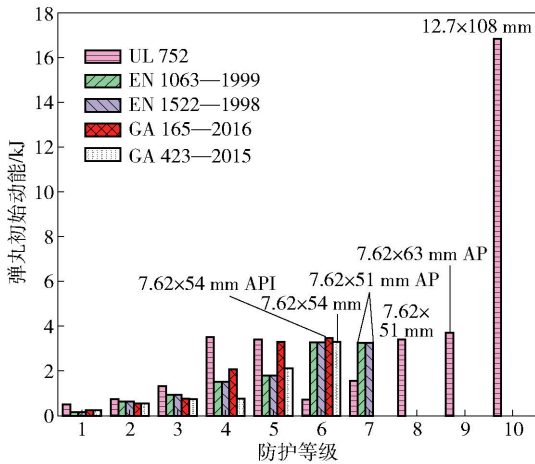


图6 透明材料或其他防护设备防弹标准各等级弹丸初始动能对比

Fig. 6 Comparison of muzzle energy from the transparent material or equipment protection level testing according to different standards

GA 165—2016《防弹透明材料》标准中的6级,测试弹丸7.62×54 mm全金属覆铜钢被甲尖头穿燃弹,弹丸初始动能3 428 J。这两个防护级别均高于EN 1063—1999和EN 1522—1998标准中的7级防护。

UL752防弹标准中4级、5级测试弹丸威胁程度远大于6级、7级,但4级、5级均射击1发弹丸,6级、7级防护射击5发弹丸,且弹着点位置要求是在边长114 mm的正方形内4个顶点和两条对角线的交点,表明单位面积内的射击次数也是装甲材料防护等级评定的影响因素。

2 标准中常用测试弹丸分析与对比

对常用防弹标准中一些小口径步枪弹丸进行分析与对比,如表20所示。由于同种弹药在不同的防弹标准中采用参数不一致,表20中各弹药部分参数优先选取应用最广泛的防弹标准中的数据,其次选取简氏弹药手册和美国陆军小口径弹药数据技术手册中的标准值^[6,54]。中、俄、德三国防弹标准测试弹药弹头被甲多为全金属覆铜钢被甲,英、美两国所用测试子弹弹头被甲多采用黄铜制成。

常用防弹标准等级测试中的7.62×51 mm NATO标准弹丸主要有M80、M993、P80这3种全威力弹,共涉及14部防弹标准,涵盖了防弹衣、装甲防护车辆、透明材料和其他防护设备等应用领域。M80和P80这两种弹丸的弹头被甲既有全金属铜被甲又有全金属覆铜钢被甲,NIJ 0101.06标准中

Ⅲ级防护测试弹丸为全金属钢被甲M80弹,而在UL 752标准8级和STANAG 4569—2014标准1级防护中测试全金属铜被甲M80弹。P80弹在VPAM-APR—2021、EN 1522、EN 1063这三部标准为全金属铜被甲,在SCHUTZKLASSE—2008防弹衣标准中为全金属覆铜钢被甲。此外,3种7.62×51 mm NATO弹的弹芯材质也不同,M80为铅心弹,P80为硬质钢心弹,M993为钨心弹。

7.62×39 mm口径弹丸是国内外防弹标准等级测试中常用的一种中间威力弹,共涉及12部防弹标准。该尺寸弹丸主要有56式7.62 mm普通弹(俄罗斯57N231)和56式7.62 mm穿甲燃烧弹两种。两种弹药弹头被甲均为全金属覆铜钢被甲,普通弹弹心材质为低碳钢,硬度较低,穿燃弹弹心为经过热处理的硬质钢。适配射击枪械为AK47步枪,这是目前世界上现存数量最多的枪支,通过对比美标NIJ和英标HOSDB的新旧标准可知,新标准均将步枪AK47发射7.62×39 mm全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹加入到防护等级测试的枪弹体系中。

7.62×54 mm口径弹丸主要有53式7.62 mm普通弹、53式7.62 mm穿甲燃烧弹(俄罗斯7BZ3)两种,本文共涉及9部防弹标准用其进行防弹能力等级测试,该口径弹丸普通弹和穿燃弹弹头被甲均为全金属覆铜钢被甲,弹头形状均为尖头。普通弹弹心材质为低碳钢,硬度较低;穿燃弹弹头为经热处理的硬质钢。此外两种弹弹头长度不同:普通弹弹头直径和长度为7.87 mm和33.3 mm,弹头长径比为4.2;穿燃弹弹头直径和长度分别为7.87 mm、37.9 mm,弹头长径比4.8。仅从长径比来看,后者侵彻能力更优异。

常用防弹标准等级测试中的5.56×45 mm NATO标准弹主要有M193和SS109(M855)两种,共涉及9部常用防弹标准。两种弹头被甲均为全金属铜被甲。M193弹心材质为铅心,弹头直径和长度分别为5.66 mm、19.2 mm,弹头长径比3.4;SS109(M855)弹心内部结构较为特殊,由铅心底座和钢制侵彻尖头组成,因此具有优异的侵彻穿透能力和出色的弹道性能。弹头直径和长度分别为5.66 mm、23 mm,弹头长径比为4.1。美国相关研究机构在SS109(M855)弹头基础上进一步优化,研制出了侵彻钢头外露的M855A1弹,弹道性能及侵彻能力更优于M855弹,因此优化弹丸结构是提高弹丸侵彻破坏能力的重要途径之一。6种常用弹药形貌结构如图7所示。

表 20 防弹标准中各等级测试常用步枪武器子弹参数

Table 20 Bullet parameters for level test of common rifles according to the bulletproof standards

子弹尺寸	子弹类型	弹头结构与 弹心材质	弹头尺寸 (长径比)/mm	弹头公称 质量/g	标准弹速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	初始 动能/J	相关防弹标准等级
5.45 × 39 mm	7N10	FMJ PB HC AP	5.59 × 25.6 (4.6)	3.5	895 ± 5 ^[21]	1 402	GOST 34286—2017 BR4 GOST 34282—2017 BR4
5.56 × 45 mm	M193	FMJ * 1 PB SC	5.66 × 19.2 (3.4)	3.56	975 ± 10 ^[6]	1 692	NIJ 0101.07 RF1/RF2 STANAG 4569—2014 1级 UL 752 7级
	SS109/M855	FMJ * 1 PB SCP	5.66 × 23 (4.1)	4	930 ± 10 ^[6]	1 730	NIJ 0101.07 RF2 SCHUTZKLASSE SK3 EN 1522 FB5/FB6 EN 1063 BR5 STANAG 4569—2014 1级 VPAM-APR-2021 7级
5.8 × 42 mm	DBP87 式 普通弹	FMJ PB MSC	5.95 × 25 (4.2)	4.15	930 ± 10 ^[41]	1 795	GA 668—2006 C级
7.62 × 39 mm	56 式 7.62 mm 普通弹/M43/ 57-N-231	FMJ PB MSC	7.9 × 26.8 (3.4)	8.05	725 ± 10 ^[33]	2 116	GA 141—2010 5级 GA 164—2018 C级 GA 165—2016 4级 GA 423—2015 5级 GA 668—2006 B级 NIJ 0101.07 RF1/RF2 HOSDB—2017 HO3 VPAM-APR—2021 6级 GOST 34286—2017 BR4 GOST 34282—2017 BR4
	56 式 7.62 mm 穿燃弹	FMJ PB HC API	7.9 × 27.8 (3.5)	7.7 ± 0.1	740 ± 10 ^[26]	2 108	STANAG 4569—2014 2级 VPAM-APR—2021 8级
7.62 × 54 mm	53 式 7.62 mm 普通弹	FMJ PB MSC	7.87 × 33.3 (4.2)	9.6 ± 0.1	830 ± 10 ^[33]	3 307	GA 141—2010 6级 GA 165—2016 5级 GA 423—2015 6级
	53 式 7.62 mm 穿燃弹/7BZ3	FMJ PB HC API	7.87 × 37.9 (4.8)	10.45 ± 0.1	810 ± 10 ^[36]	3 428	GA 165—2016 6级 GJB 4300A—2012 III级 GOST 34286—2017 BR5 GOST 34282—2017 BR5 STANAG 4569—2014 3级 VPAM-APR-2021 10级
7.62 × 51 mm	M80	FMJ/FMJ * 1 PB SC	7.82 × 29 (3.7)	9.6	847 ± 9.1 ^[15]	3 444	NIJ 0101.06 III级 NIJ 0101.07 RF1/RF2 UL 752 8级 HOSDB—2017 HO3 SCHUTZKLASSE SK3 EN 1522 FB6 EN 1063 BR6 STANAG 4569—2014 1级 VPAM-APR—2021 7级
	M993	FMJ PB WC AP	7.82 × 29 (3.7)	8.2	930 ± 10 ^[32]	3 546	STANAG 4569—2014 3级
	P80	FMJ/FMJ * 1 PB HC AP	7.82 × 29 (3.7)	9.6	820 ± 10 ^[26]	3 228	EN 1522 FB7 EN 1063 BR7 SCHUTZKLASSE SK4 VPAM-APR—2021 9级
7.62 × 63 mm	.30-06 M2	FMJ/FMJ * 1 PB HC AP	7.82 × 35.6 (4.6)	10.7	878 ± 9.1 ^[16]	4 124	NIJ 0101.06 IV级 NIJ 0101.07 RF3 UL752
12.7 × 99 mm	M33	FMJ * 1 PB SC	12.95 × 58.7 (4.5)	45.9	856 ^[20]	16 816	UL 752
12.7 × 108 mm	57BZ542	FMJ PB HC API	12.95 × 59.6 (4.6)	48.28	840 ± 10 ^[21]	17 033	GOST 34286—2017 BR6 GOST 34282—2017 BR6
14.5 × 114 mm	B32 API	FMJ PB HC API	14.5 × 66.7 (4.6)	63.44	911 ^[32]	26 325	STANAG 4569—2014 4级



图7 防弹标准中6种常用小口径弹丸形貌对比

Fig. 7 Morphology and size comparison of small-caliber bullets according to the ballistic protection standards

3 总结与展望

1972年美国发布世界第一部防弹标准NIJ 0101.00至今已经50周年,经过半个世纪的发展,各个国家针对各种防护装备所制定的防弹标准日趋完善,标准分类也更为细致。

1)从防弹标准的应用范围来看,可以将防弹标准分为防弹衣、防弹头盔、装甲防护车辆、透明材料和其他防护设备四大类。有些防弹标准应用范围较为固定,如NIJ 0101.06主要针对防弹衣所制定,有些防弹标准较为通用,如北约防弹标准STANAG 4569,虽然主要用于装甲防护车辆,因其防护级别较高,一些防弹衣硬质插板为展示自身防弹性能良好,也会采用这个防弹标准进行测试。

2)从防弹标准的使用对象来看,从最初的警务或军事人员发展到如今有安保需求的普通民众,如NIJ 0101系列防弹衣标准名称从最初的警用防弹衣标准更改为后来的个人防弹衣标准,再到现在的防弹衣标准。德国VPAM-APR—2021防弹标准主要应用于民用防护车辆领域。

3)从防弹标准的防护等级来看,同等级测试枪弹类型越来越多,测试弹丸的威力也越来越大。NIJ 0101.07在NIJ 0101.06的测试基础上增加了7.62×39 mm全金属覆铜钢被甲尖头钢心弹和5.56×45 mm全金属铜被甲尖头铅心弹(M193),取消NIJ 0101.06中防护级别最低的II A级;俄罗斯GOST 34286—2017防弹标准最高防护级别从旧标准防御7.62×54 mm全金属覆铜钢被甲尖头穿甲燃烧弹升级为防御12.7×108 mm全金属覆铜钢被甲尖头穿甲燃烧弹,也是目前防弹衣标准中最高防护等级。

4)防护等级的评定不仅由各等级测试弹丸初始动能大小决定,还与测试弹体结构、弹心材质、单位面积射击次数、射击角度、靶板面密度有关。

5)不同的防弹标准中对同一种弹药采用的弹丸参数有所差异,NIJ 0101.06中IV级防护测试弹丸M2 AP初速878 m/s,美国商业保险实验室制定的UL 752防弹标准中9级防护测试弹丸同为M2 AP,但弹速为标准弹速828 m/s。

我国相关防弹标准的制定起步稍晚,内容大多参照NIJ系列的防弹标准并结合国内实际面临的枪支弹药威胁而制定,经过近些年的发展与完善,相关防护装备对应的防弹标准分类也较为齐全。但与美俄等军事强国相比,我国制定的防弹标准防护级别偏低,测试枪弹的种类较为单一。我国是一个防护装备出口大国,每年有大量质优价低的防护用品和装备出口至世界的各个国家和地区^[61],由于各国制式弹药和使用枪支环境的差异,国内外常用防弹标准在测试弹丸种类和威力方面有明显差距,随着武器弹药威胁程度提高,我国防弹标准可适当添加测试弹丸种类或提高各防护等级测试弹丸威力,来对防护装备的抗弹性能各项指标进行更精确划分。此外,现代化的防弹装备多趋向于高科技化和人工智能化,这也是今后相关防弹标准需要完善进步的方向。

致谢

感谢剑桥大学罗炳程博士后、上海大学韦习成教授、上海大学陆恒昌讲师、中国钢研集团王存宇教授、范建文教授在相关标准搜寻收集工作中的帮助。

参考文献(References)

- [1] 曹贺全,孙葆森,徐龙堂,等. 装甲防护技术研究[M]. 北京:北京理工大学出版社,2019.
CAO H Q, SUN B S, XU L T, et al. Armor protection technology research[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2019. (in Chinese)
- [2] 王光华,吴志林,赖西南,等. 轻武器杀伤效应[M]. 北京:科学出版社,2021.
WANG G H, WU Z L, LAI X N, et al. Terminal effects of small arms[M]. Beijing: Science Press, 2021. (in Chinese)
- [3] 吴志林,李忠新,刘坤,等. 自动武器弹药学[M]. 北京:北京理工大学出版社,2020.
WU Z L, LI Z X, LIU K, et al. Small arms ammunition[M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 2020. (in Chinese)
- [4] 曾永珠. 21世纪初叶轻武器发展研究[D]. 南京:南京理工大

- 学,2016.
- ZENG Y Z. Development research of small arms in the early part of the 21th century [D]. Nanjing; Nanjing University of Science and Technology, 2016. (in Chinese)
- [5] 邱日祥,杨勇胜. 我国单体防护装备之现状——兼谈我国现行防弹衣标准[J]. 中国安防产品信息, 1999(2): 29-31.
- QIU R X, YANG Y S. Current situation of individual protective equipment in China and standards of body armor [J]. China Security Product Information, 1999(2): 29-31. (in Chinese)
- [6] GANDER T J. Jane's ammunition handbook [M]. London, UK: Jane' Information Group, 2002.
- [7] Ammunition handbook [M]. 6th ed. Raufoss, Norway: NAMMO Company, 2021.
- [8] Ballistic resistance of police body armor; NIJ 0101. 00 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 1972.
- [9] Ballistic resistance of police body armor; NIJ 0101. 01 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 1978.
- [10] Ballistic resistance of police body armor; NIJ 0101. 02 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 1985.
- [11] Ballistic resistance of police body armor; NIJ 0101. 03 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 1987.
- [12] Ballistic resistance of personal body armor; NIJ 0101. 04 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 2000.
- [13] 邱日祥. 美国 NIJ 0101. 04 防弹衣标准简介 [J]. 中国个体防护装备, 2004(6): 28-30.
- QIU R X. Introduction of American NIJ 0101. 04 body armor standard [J]. China Personal Protection Equipment, 2004(6): 28-30. (in Chinese)
- [14] Ballistic resistance of personal body armor; NIJ 0101. 04A [S]. Washington, DC, US: U. S. Department of Justice Office of Justice Programs, 2001.
- [15] Ballistic resistance of body armor; NIJ 0101. 06 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 2008.
- [16] 马琼, 谭保东, 刘延华, 等. 美国 NIJ 0101. 06 防弹衣标准简介 [J]. 中国个体防护装备, 2017(2): 24-28.
- MA Q, TAN B D, LIU Y H, et. al. Introduction of American NIJ 0101. 06 body armor standard [J]. China Personal Protection Equipment, 2017(2): 24-28. (in Chinese)
- [17] Ballistic resistance of body armor (draft); NIJ 0101. 07 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 2018.
- [18] 郭显成, 程斌. 美国防弹衣标准发展历程及最新防弹标准 [J]. 轻兵器, 2021(1): 52-57.
- GUO X C, CHENG B. The development process of American body armor standard and the latest bulletproof standard [J]. Small Arma, 2021(1): 52-57. (in Chinese)
- [19] NIJ standard for ballistic helmets (Modified); NIJ 0106. 01 [S]. Washington, DC, US: National Institute of Justice, U. S. Department of Justice, 2005.
- [20] UL standard for safety for bullet-resisting equipment; UL 752 [S]. Northbrook, IL, US: Underwriters Laboratories, 2005.
- [21] Armored clothing. classification and general specifications; GOST 34286—2017 [S]. Moscow, Russia; Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 2017. (in Russian)
- [22] Armor protection of cars. general technical requirements; GOST 34282—2017 [S]. Moscow, Russia; Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification, 2017.
- [23] Bodyarmour standard (2017) [S]. London, UK: Home Office Scientific Development Branch, 2017.
- [24] HOSDB Body armour standards for UK police (2007) [S]. London, UK: Home Office Scientific Development Branch, 2007.
- [25] Ballistic vests-2008 [S]. Münster, Germany: Police Technical Institute of the German Police University, 2008.
- [26] General basics of ballistic material, design and product tests; VPAM-APR [S]. 3th ed. Germany: Association of Test Benches for Anti-attack Materials and Constructions, 2021.
- [27] Windows, doors, shutters and blinds-bullet resistance-requirements and classification; EN 1522:1998 [S]. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 1998.
- [28] Glass in building-security glazing-testing and classification of resistance against bullet attack; EN 1063:1998 [S]. Brussels, Belgium: European Committee for Standardization, 1999.
- [29] Security glazing; DIN 52290-2:1988-11 [S]. Germany: German Institute for Standardisation, 1988.
- [30] Bullet-resistant glazing. specification for glazing for interior use; BS 5051-1—1988 [S]. UK: British Standard Institute, 1988.
- [31] STANAG 2920. Ballistic test method for personal armour materials and combat clothing; STANAG 2920 [S]. Brussels, Belgium: NATO, 2003.
- [32] Protection Levels for Occupants of Armored Vehicles; STANAG 4569 [S]. Brussels, Belgium: NATO, 2014.
- [33] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 警用防弹衣; GA 141—2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2010.
- Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Police ballistic resistance of body armor; GA 141—2010 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2010. (in Chinese)
- [34] 邱日祥, 张志江. GA 141—2010 警用防弹衣标准诠释 [J]. 警察技术, 2011(4): 71-73.
- QIU R X, ZHANG Z J. The introduction of GA 141—2010 police resistance of body armor [J]. Police Technology, 2011(4): 71-73. (in Chinese)

- [35] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 专用运钞车防护技术要求:GA 164—2018[S]. 北京:中国标准出版社,2018.
Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Technical specifications for protection of cash transport vans:GA 164—2018[S]. Beijing: Standards Press of China,2018. (in Chinese)
- [36] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 防弹透明材料:GA 165—2016[S]. 北京:中国标准出版社,2016.
Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Ballistic transparent material:GA 165—2016[S]. Beijing: Standards Press of China,2016. (in Chinese)
- [37] 邱日祥,杨杰.GA 165—2016 防弹透明材料标准解析[J]. 中国安全防范认证,2017(3):52-55.
QIU R X, YANG J. Standard analysis of GA 165—2016 bulletproof transparent materials[J]. China Security Protection Technolugu and Application,2017(3):52-55. (in Chinese)
- [38] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 警用防弹头盔及面罩:GA 293—2012[S]. 北京:中国标准出版社,2012.
Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Police ballistic helmets and shields:GA 293—2012[S]. Beijing: Standards Press of China,2012. (in Chinese)
- [39] 邱日祥.GA 293—2012 警用防弹头盔及面罩标准解读[J]. 中国个体防护装备,2014(4):27-32.
QIU R X. Analysis of GA 293—2012 police ballistic helmets and shields[J]. China Personal Protective Equipment,2014(4):27-32. (in Chinese)
- [40] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 警用防弹盾牌:GA 423—2015[S]. 北京:中国标准出版社,2015.
Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. Police ballistic shields:GA 423—2015[S]. Beijing: Standards Press of China,2015. (in Chinese)
- [41] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 警用防暴车通用技术条件:GA 668—2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. General specifications for police anti-riot vehicles:GA 668—2006[S]. Beijing:Standards Press of China,2006. (in Chinese)
- [42] 曹贺全,赵宝荣,徐龙堂. 装甲防护技术[M]. 北京:兵器工业出版社,2012.
CAO H Q, ZHAO B R, XU L T. Armor protection technology [M]. Beijing:Publishing House of Ordnance Industry,2012. (in Chinese)
- [43] v_{50} ballistic test for armor:MIL-STD-662F[S]. Washington, DC, US:Department of Defense,1997.
- [44] ROSENBERG Z, DEKEL E. Terminal ballistic [M]. Berlin, Germany:Springer,2012.
- [45] 李茂辉,黄献聪,王雷,等. 防弹材料及装备 v_{50} 测试方法研究[J]. 兵器材料科学与工程,2011,34(6):99-101.
LI M H, HUANG X C, WANG L, et al. Review of v_{50} ballistic test method for bullet resistant materials and armor component[J]. Ordnance Material Science and Engineering,2011,34(6):99-101. (in Chinese)
- [46] 中华人民共和国公安部特种警用装备标准化技术委员会. 防弹材料及产品 v_{50} 试验方法:GA 950—2011[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
Special Police Equipment Standardization Technical Committee of the Ministry of Public Security of the People's Republic of China. v_{50} test method for ballistic materials and products:GA 950—2011[S]. Beijing: Standards Press of China,2011. (in Chinese)
- [47] 闫文敏,王光华,金永喜,等. 枪弹穿甲后效破片对典型防弹衣侵彻毁伤特性试验研究[J]. 兵工学报,2019,40(11):2378-2384.
YAN W M, WANG G H, JIN Y X, et al. Experimental investigation on the damage characteristics of typical body armor by the after-effect fragments of nullet[J]. Acta Armamentarii, 2019,40(11):2378-2384. (in Chinese)
- [48] 曾毅,赵宝荣. 装甲防护材料技术[M]. 北京:国防工业出版社,2014.
ZENG Y, ZHAO B R. Armor protection materials technology [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014. (in Chinese)
- [49] 张华鹏. 防弹材料冲击破坏机理及其纤维的衰减规律[D]. 上海:东华大学,2002.
ZHANG H P. Failure mechanisms of ballistic resistant material and decay of its fibers[D]. Shanghai:Donghua University,2002. (in Chinese)
- [50] 张力元. 美国枪支立法演变与执法研究[D]. 北京:中国社会科学院,2013.
ZHANG L Y. Research on the evolution and enforcement of gun legislation in the United States[D]. Beijing:Chinese Academy of Social Sciences,2013. (in Chinese)
- [51] ROTHEHÄUSLER H S H. The influence of target temperature on the protection ability[C]// Proceedings of the 9th International Symposium on Ballistics. Shrivenham, UK: International Ballistics Society, 1986:485-490.
- [52] JOHNSON G R, COOK W H. Fracture characteristics of three metals subjected to various strains, train rates, temperatures and pressures[J]. Engineering Fracture Mechanics, 1985, 21(1):31-48.

- [53] 石旭. 300M 超高强钢高温本构模型的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2015.
SHI X. Research on the high temperature constitutive model of 300M ultrahigh strength steel [D]. Harbin; Harbin University of Science and Technology, 2015. (in Chinese)
- [54] Headquarters, Department of the Army. Army ammunition sata sheets small caliber ammunition [M]. Washington, DC, US: Department of the Army, 1996.
- [55] 军用防弹衣安全技术性能要求; GJB 4300A—2012 [S]. 北京: 中国人民解放军总后勤部, 2012.
Requirements of safety technical performance for military body armor: GJB 4300A—2012 [S]. Beijing: General Logistics Department of the PLA, 2012. (in Chinese)
- [56] 朱玉流. 现代头盔的特点及发展趋势[J]. 现代兵器, 1992(9):12-14.
ZHU Y L. Characteristics and development trend of modern helmet[J]. Modern Weaponry, 1992(9):12-14. (in Chinese)
- [57] 刘益军. FRP 复合材料头盔-头部系统抗弹性能研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2021.
LIU Y J. Study on the ballistic performance of FRP composite helmet-head system [D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2021. (in Chinese)
- [58] 秦溶蔓. UHMWPE 混杂结构防弹复合材料制备及应用关键技术研究[D]. 济南: 山东大学, 2021.
QIN R M. Study on key technologies of preparation and application of UHMWPE hybrid bulletproof composites [D]. Jinan; Shandong University, 2021. (in Chinese)
- [59] 刘春美, 马琼, 石凌飞. 警用防弹装备防护技术分析与发展趋势预测[J]. 警察技术, 2020(3):48-53.
LIU C M, MA Q, SHI L F. Analysis and development trend forecast of police bulletproof equipment protection technology [J]. Police Technology, 2020(3):48-53. (in Chinese)
- [60] 曹贺全, 张广明, 孙素杰, 等. 装甲车辆防护技术研究现状与发展[J]. 兵工学报, 2012, 33(12):1549-1554.
CAO H Q, ZHANG G M, SUN S J, et al. The status and development of protection technology of armored vehicles [J]. Acta Armamentarii, 2012, 33(12):1549-1554. (in Chinese)
- [61] 杨英清, 李英建, 谭臻, 等. 防弹衣等人体防护制品市场发展概况[J]. 防护装备技术研究, 2016(6):16-21.
YANG Y Q, LI Y J, TAN Z, et al. Present mrket condition of bulletproof clothes and other body protector [J]. China Personal Protective Equipment, 2016(6):16-21. (in Chinese)