



研究生系列教材

现代警用装备技术

战仁军 安纯前 主编



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

研究生系列教材

现代警用装备技术

战仁军	安纯前	主编		
翟晓军	卢志刚	李阿楠	王大伟	参编
常俊宁	樊向武	李金胜		

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

《现代警用装备技术》一书,是在新军事变革时期,武警部队、公安系统用于学习、教学、研究武器装备技术的基础教材,也是装备指挥和管理创新与发展的一个重要组成部分。警用装备技术的种类很多,按其用途和研究内容主要分为防护、夜视、光学、激光、侦察、探测、攀登、防化、防暴与排爆等十大类装备技术。

本书由总论、上篇(通用装备技术)、下篇(反恐装备技术)三部分组成,共十一章,主要包括:总论、防护装备技术、微光装备技术、红外装备技术、光学装备技术、激光装备技术、阻车装备技术、攀登装备技术、侦察装备技术、探测装备技术、排爆装备技术、防化装备技术。

现代警用装备技术是正在发展中的科学,随着科技的发展和高新武器的不断涌现,其潜在价值不可低估。

图书在版编目(CIP)数据

现代警用装备技术/战仁军,安纯前主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2012.8

(研究生系列教材)

ISBN 978-7-5606-2792-2

I. ① 现… II. ① 战… ② 安… III. ① 警察—装备—中国—研究生—教材 IV. ① D631

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 083029 号

策 划 陈 婷

责任编辑 张 绚 王 斌 陈 婷

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

网 址 www.xduph.com 电子邮箱 xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西华沐印刷科技有限责任公司

版 次 2012年8月第1版 2012年8月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 24

字 数 569千字

印 数 1~2000册

定 价 49.00元

ISBN 978-7-5606-2792-2/D·0006

XDUP 3084001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

前 言

现代警用装备器材与非致命武器一样,是属于武警部队装备部门、军械部门管理的制式装备。其装备质量的高低,直接关系着部队战斗力的强弱。在武警部队执勤、“处突”与“反恐”作战中,由于任务的特殊性和复杂性,现代警用装备器材与非致命武器的使用频率越来越高,其品种、数量也越来越多。因此,围绕部队任务特点,研制与发展高技术武器、器材以增强武警对付犯罪分子的战斗能力,是建设现代化武警装备的一项重要任务。

现代警用装备技术,是武警部队军事装备学科发展的重点,院校教学的特色。其基础理论深藏于技术物理学、力学、电子学、电磁学、光学、声学、化学以及生物学、机械学等学科之内,其技术的开发不仅依赖于这些基础学科,而且还可以促进这些学科的发展。深入挖掘与开发现代警用装备技术的潜在价值,以形成军事装备专门独立的学科体系,既是提升现有武器装备性能、武警部队“处突”和“反恐”作战效能的需要,也是培养具有现代警用装备理念与技术的高科技人才队伍,加速实现跨越式发展的需要。

事实上,现代警用装备技术是一个崭新的概念,内容十分丰富,涉及面较广。它是随着高新技术的发展,为满足武警、公安、警察、保安等部门职能任务的需要,在近年内建立起来的一个重要的警用特种装备攻击与防护综合性技术基础应用学科。其不同于一般装备技术,是指武警在执行任务时,所使用的防护、阻车、攀登、夜视、激光、侦察、探测、防化、排爆防暴等装备技术。鉴于此,我们在参考与查阅大量文献的基础上,总结多年教学和产品研制的实践经验,编著本书,旨在向大家介绍目前现代警用装备的最新技术,希望有识之士共举技术创新之策,提出新思路、研究新技术、开发新装备、培养新人才,尽快发展现代警用特种装备,为部队现代化建设服务。本书是我院启动“研究生教材建设工程”首批重点学科教材,内容全面、系统、新颖,既可作为军事装备学研究生教材,也可作为武器装备和科研工作者知识更新的参考书。

本书由总论、上篇、下篇三部分组成。全书由战仁军、安纯前担任主编,负责确定编写思想、编写内容、编写范围、编写提纲,并组织总体论证及人员的具体分工与实施;翟晓军、卢志刚、李阿楠、王大伟、常俊宁、樊向武、李全胜等参加编写工作,负责收集资料、制定图表、编写与校对文字。全书共分十一章,即:防护装备技术,微光装备技术,红外装备技术,光学装备技术,激光装备技术,阻车装备技术,攀登装备技术,侦察装备技术,探测装备技术,排爆装备技术,防化装备技术。初稿拿出后,交由安纯前统一编辑和反复修改,最后由院专家组审查定稿。本书在编写过程中,参考了大量重要文献,在此对这些著作者表示衷心感谢。

现代警用装备技术是正在发展中的科学技术,其潜在价值不可低估。由于编者水平有限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012年5月于西安

目 录

总 论

第一节	现代警用装备技术的定位与理念	1
第二节	现代警用装备技术研究的意义及作用	1
第三节	现代警用装备技术研究的方法及关系	2

上篇 通用装备技术

第一章	防护装备技术	6
第一节	防护材料	6
第二节	防护性能基本要求	10
第三节	防弹纤维与防弹性能	14
第四节	头盔	22
第五节	盾牌	27
第六节	防护服	30
第七节	防护装备技术的发展	38
第二章	微光装备技术	41
第一节	微光装备技术简介	41
第二节	夜天辐射基础	42
第三节	微光夜视仪原理	47
第四节	第一代微光夜视仪	50
第五节	第二代微光夜视仪	55
第六节	第三代微光夜视仪	62
第七节	微光夜视仪的静态性能	65
第八节	微光夜视仪的总体设计与视距估算	72
第九节	GW89—20 型头盔微光观察镜	78
第十节	85 式微光望元镜	90
第三章	红外装备技术	95
第一节	红外技术原理及应用	95
第二节	红外探测器	97
第三节	主动红外夜视仪原理	120
第四节	热像仪总体技术	126
第四章	光学装备技术	156
第一节	光学仪器性能	156
第二节	起特定作用的光学元件	158

第三节	光纤技术原理及应用	165
第五章	激光装备技术	173
第一节	激光技术的发展与应用	174
第二节	激光基础知识	175
第三节	激光器的种类	184
第四节	实施激光束变换的光学系统	189
第五节	激光瞄准技术	194
第六节	激光测距技术	196
第七节	激光目标指示技术	207
第八节	激光武器原理	212
第九节	攻击人身的激光武器	214
第六章	阻车装备技术	222
第一节	阻车路障的作用及原理	222
第二节	阻车器材的性能	225
第三节	阻车器材的使用	227
第四节	阻车装备技术的发展	229
第七章	攀登装备技术	231
第一节	军事攀登技术	231
第二节	背负式攀登器材的使用	236
第三节	抛绳式器材的性能原理	243
第四节	攀登装备技术的发展	248
下篇 反恐装备技术		
第八章	侦察装备技术	250
第一节	概述	250
第二节	通信侦察技术	251
第三节	雷达侦察技术	255
第四节	光学侦察技术	264
第九章	探测装备技术	274
第一节	爆炸原料的分类	274
第二节	爆炸物品的检查识别方法	274
第三节	爆炸物探测器材的原理、特点及发展现状	280
第四节	爆炸物品检查手段的评价及发展趋势	289
第五节	反爆炸检查的重点	292
第六节	反爆炸检查的基本要求	300
第七节	反爆炸检查的实施	302
第八节	爆炸恐怖活动的预防及其技术发展	305

第十章 排爆装备技术	309
第一节 爆炸物排除器材的原理、特点及应用现状	309
第二节 爆炸物品处置的原则及安全规则	319
第三节 爆炸物处置方法	322
第四节 爆炸物处置的组织指挥	330
第五节 爆炸物处置程序	335
第六节 处置爆炸物时应注意的问题	338
第七节 排爆人员的基本要求及其条件	339
第十一章 防化装备技术	342
第一节 反化学恐怖的信息集成与评估技术	342
第二节 化学恐怖预测、防止和监控	348
第三节 重要设施对化学恐怖的防护技术	361
第四节 水源与食物系统对化学恐怖的防护技术	362
第五节 化学染毒的清除技术	364
第六节 化学毒物的恐怖威胁程度评估	370
第七节 加大防化装备技术研发力度	372
参考文献	374

总 论

现代警用装备技术是一个崭新的概念，它是为满足武警、公安、警察、保安等部门职能任务的需要，在近年内建立起来的一个重要的研究现代警用装备技术应用的基础性学科。

本章主要介绍现代警用装备技术的概念、定位、分类、作用、研究对象、研究方法及意义，使大家对现代警用装备技术有一个较为全面的认识和了解。

第一节 现代警用装备技术的定位与理念

警用武器包括杀伤性武器、非杀伤性武器和现代警用装备器材。杀伤性武器可置持枪暴徒于死地；非杀伤性武器可以在不伤及无辜群众性命的前提下，使犯罪分子丧失抵抗力，束手就擒；现代警用装备器材是部队在遂行多样化任务时，与杀伤性武器、非杀伤性武器配合使用，以保护与辅助单兵具有持续战斗能力的装备。所以杀伤性武器、非杀伤性武器与现代警用装备器材，都是武警部队武器装备的基本组成部分，分属于装备部门和机械部门管辖，其中非杀伤性武器和现代警用装备器材是武警部队武器装备的特色，这些装备在武警部队执勤、处突和反恐行动以及协同军队作战中，起到了常规武器不可替代的重要作用。

现代警用装备技术不同于一般的装备技术，主要研究防护、阻车、攀登、夜视、激光、侦察、探测、防化与排爆等警用装备器材的防护机理、机构原理、实际效应、技术措施和发展趋向等，是一门综合性很强的基础应用学科，其技术基础理论深藏于物理学、空气动力学、爆炸力学、电子学、信息学、光学、声学、化学，以及生物学和机械学等多学科领域之内。我国的现代警用装备技术与世界发达国家相比，在定性与研发、致伤机理、终点效应以及使用目的等方面都存在显著的差距，要缩小这些差距，就需要有一大批高层次人才去研究与开发。

第二节 现代警用装备技术研究的意义及作用

现代警用装备技术是多学科多领域技术应用的综合化、创新化、聚能化，一旦将这些

高科技成分聚集成整体,运用于军事装备领域,其潜在价值和作战效能不可低估。

现代警用装备技术可以提升现有武器装备性能。武警部队目前配备的杀伤性武器、非杀伤性武器和警用器材,还不能够满足“处突”、“反恐”及协同军队作战的要求,尤其在处置一些群体性的暴(骚)乱事件和对付穷凶极恶的歹徒时,还显得有些力不从心,亟待用现代警用装备技术来弥补武器性能的不足之处。例如:安装在81式自动步枪上的WJ97—2型激光扩速瞄准具,采用光电机效应和主光斑对称与扩速技术,变单眼视觉瞄准为双眼视觉瞄准,从而使捕捉目标的时间大为缩减,提高了捕捉目标的速度,特别适合夜间抵进射击,有效地提高了自动步枪的射击性能,能够保证在执行任务时实现首发命中,且不会伤及无辜,这对武警部队来讲非常重要。

现代警用装备技术是对常规武器装备技术的重要补充,能够提升武警部队“处突”、“反恐”的作战效能。现代警用装备技术在对付恐怖分子、跨国的毒品垄断组织以及制止监狱暴动、犯人作乱及反截机、围追、堵截等行动中起到了重要的作用。例如能够“穿墙”观察的二维、三维雷达系统,使用宽频无线电穿过树木与混凝土,结合电脑3D成像程序就能显示出墙壁后面的大致情形、人体轮廓,便于隔墙观察与瞄准打击,大大提高了部队的作战效能。

军事需求是装备发展的动力,技术进步是装备发展的条件。根据武警部队的作战任务与勤务特点,就必须大力研发新概念武器及技术含量较高的装备,这就需要培养一大批具有现代警用装备理念与技术的高科技人才,进一步确立学科地位,确定研究方向,打好技术基础,实现警用装备的快速发展。

第三节 现代警用装备技术研究的方法及关系

现代警用装备技术是随着科技的发展、部队任务的需求而发展的。在经历了暴(骚)乱、械斗、恐怖事件后,现代警用装备技术的发展经历了仿制改进、研究提高与自主开发三个主要阶段,总体上呈现出起步晚、发展快,逐步向高科技技术装备迈进的特征,这与研究条件、方法以及横向联合研制开发项目有着密切联系。在不同的研究阶段,根据对问题的理念思维,综合运用数种科学方法,可以取得事半功倍的效果。

1. 理论研究方法

理论研究方法通常根据对研究对象的认识程度,提出必要的基本假设,继而建立贴近实际情况的物理模型,导出相应的数学模型,最终求出数值解或解析解,达到更深刻地阐述基本规律、更合理地解释复杂现象、更有效地解决疑难问题的目的。理论的价值在于它的预测性,现代警用装备技术从理论层面分析了作用机理中各个参量之间的相互关系,阐明它的工作原理和基本规律。新设计的警用装备方案初步确定后,可以用设计理论预测它

未来的运行情况和主要性能,指导调整设计参量和结构方案。在试装实验或操作使用中发生问题,可以用设计理论分析原因,寻找解决问题的办法,从而建立或进一步发展现代警用装备技术理论。

2. 实验研究方法

科学实验是探索未知世界的手段,是知识的源泉。实验研究方法可以在严格控制的环境中重复展现研究对象的动态过程,运用现代测试技术将瞬变的现象记录下来,进行详细的研究分析,寻求规律。它在推动现代警用装备技术的研制与发展中起着重要作用。现代警用装备技术实验研究方法主要有:靶场鉴定试验、部队使用鉴定、综合实验、模拟和仿真实验等。靶场鉴定试验是以装备整体为对象,在接近实战的各种条件下测试它的综合性能,创造一些极端环境来检验它的工作可靠性。新研制的装备都必须经过多次靶场试验,分阶段地定型,最后才能投入正式生产。部队使用鉴定是指在部队内部,由单兵、分队进行具体的操作、使用、维护保养以及战术动作的试装试验,最后以组织单位作出鉴定意见。综合实验、模拟和仿真实验则主要用于探索规律,对理论进行检验或修正,对新原理、新结构、新材料进行系统研究,这些都是创立新理论的基础。数值仿真是指利用理论模型和计算机进行系统的数值模拟,该技术已部分代替物理实验,并成为实验研究的有效方法,受到普遍关注。

3. 经验研究方法

用经验的方法研究问题,就是利用已有的经验和相关的知识,对问题做出定性的推测,提出一种解决问题的设想,通过试探达到预期目标。任何一种新的装备系统,其初始方案的构思和技术途径的确定都要依靠设计者的经验和创造性思维。在革新与改进阶段,尽管设计者对武器的某些内在规律认识不很深入,但依靠长期积累的丰富经验,依托成熟技术,采用设计、试制、试验和分析、修改的方法,不仅推出了一批新的装备型号,还涌现出许多有价值的技术革新成果。在实践中,常常根据大量试验数据归纳出简单实用的经验公式,用于分析处理问题。这些在一定条件下行之有效的方法都是基于经验研究方法形成的。至于单项装备总体框架的构思和布局、部件的结构设计,更离不开设计者的经验和对战术技术要求的理解,大部分设计都是依靠自身经验起步,再通过理论和实验方法做出分析或加以优化并不断完善的。经验方法有时会带有一定的局限性或主观成分,但一些新理念、新技术往往是以此为生长点发展起来的,它与理论和实验研究方法紧密结合,在现代警用装备技术的研究中发挥着重要的作用。

现代警用装备技术是研究装备设计、研制、实验、使用问题的工程应用科学,具有多学科综合的特点,它和兵器科学有着天然的联系,同时与非杀伤性武器有着内在的不可分割的关系,它的基础理论涉及光学、电子学、物理学、化学、力学、机械工程等学科的理论知识,特别是高新技术在现代警用装备中被广泛应用,以微电子、激光为代表的高技术群

在推动装备发展方面有很大的潜力。例如，光电技术可以提高装备的反应能力和自动化水平，夜视技术可以提高装备的全天候性能，新型材料的发展得到了尖端技术的支撑，为装备采用新结构和减轻质量创造了条件等。当然，这些尖端技术用于现代警用装备，必须充分考虑高过载、极端环境和连续工作等特殊条件。现代警用装备技术就是要将相关学科的新理论、新技术、新方法融合起来，使装备系统作用机理环节和其他各相关环节达到最优化组合，最终设计出高性能的警用装备。

上篇

通用装备技术

第一章 防护装备技术

防护装备是用来保护人体免受伤害的技术装备和器具。它可以分为集体防护装备和单兵防护装备。例如：警用防暴车就是一种集体防护装备，它可以保护其乘员免受枪弹、爆炸物、燃烧瓶、毒剂等的伤害。单兵防护装备是指个人装备的防护系统，主要包括头盔、盾牌、防护衣等，它是武警部队和公安干警在执行任务时，为防止持械歹徒袭击而使用的一种实用而可靠的防护器具。防护装备对于提高武警部队的战斗力和自我保护能力，保障各项任务的顺利完成，具有重要的作用和意义，也是武警部队装备的一个重要组成部分。

第一节 防护材料

防护材料是指制作头盔、盾牌、防弹衣等单兵防护装备的原材料。防护装备性能的优劣，在极大程度上取决于防护材料性能的好坏。防护材料必须具备四个条件，分别是防护性能好、质量轻、穿着舒适、价格低廉。

一、材料防护性能的评价指标^[1]

在评价、比较各种防护材料的防护性能时，通常采用两种标准：一种是测量特定威胁时的面密度，即对于一定的投射物（质量、形状、材料、速度均一定的弹丸、弹头或石块，例如，54 式手枪在两米以外任意角度射出的 51 型铅芯弹），当防护层不被贯穿时，单位防护面积的最小材料质量。面密度在数值上等于材料的密度乘以厚度。防护特定威胁时，材料的面密度越小，防护性能越好。另一种是测量特定面密度时投射物的贯穿速度 V_{50} ，即对于特定的防护层（单位面积上的材料质量为已知），用一定规格的投射物（质量、形状、材料均已知）去撞击，有效透弹孔和有效不透弹孔各占半数的情况下，着靶速度的平均值。也就是说，贯穿速度 V_{50} 是穿透概率为 50% 时的平均着靶速度。在防护层密度和投射物规格一定时，贯穿速度 V_{50} 越高，防护性能越好。

二、防护材料的分类^[1]

防护材料的种类很多，一般可分为硬质材料和软质材料两大类。在硬质材料中，使用较多的有合金钢、铝合金、钛合金等金属材料以及聚碳酸酯、陶瓷、防弹纤维用树脂热固模压制成的复合材料等非金属材料。在软质材料中，主要是各种高强度防弹纤维，其典型代表有凯夫拉、迪尼玛等。防护材料分类如图 1-1 所示。

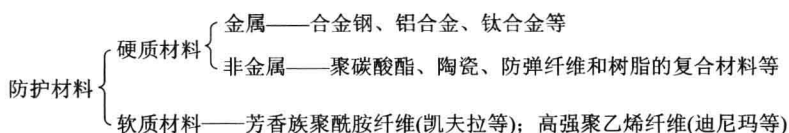


图 1-1 防护材料分类

三、硬质材料^[1]

（一）合金钢

合金钢的硬度高，强度大，韧性好，因而具有很好的防弹性能，是制造防弹装备的好材料。早期的单兵防护装具几乎都是用合金钢制造的。例如：经历了两次世界大战考验的钢盔就是用合金钢制造的，其化学组成见表 1-1。现代的冶金技术可以生产出性能更好的合金钢，用以制造防弹装备。合金钢的缺点是密度大，柔性差，穿着略感不适。

表 1-1 制造钢盔的锰钢的化学组成

合金元素	碳(C)	锰(Mn)	磷(P)	硫(S)	硅(Si)	镍(Ni)	铬(Cr)	钼(Mo)
含量/%	1.2~1.5	12~15	0.08	0.04	0.55	0.75	0.60	0.10

合金钢是最重要的防弹材料之一。各种军用、警用的装甲车辆主要是以合金钢板防御枪弹、炮弹的，许多国家的军队和警察的头盔仍用合金钢制造。采用鳞片式搭接结构的合金钢防弹衣不仅具有可靠的防弹性能，而且具有一定的柔性，仍可为人们所接受。合金钢板还可以用来制作防弹盾牌和制式防弹衣的加强板。

（二）陶瓷

陶瓷材料的硬度非常高，密度却不大，是一种很好的防护材料。它的缺点是易碎，价格高。常用的陶瓷材料有三种：碳化硼(B_4C)，密度 $\rho=2.15\text{ g/cm}^3$ ；碳化硅(SiC)，密度 $\rho=3.22\text{ g/cm}^3$ ；氧化铝(Al_2O_3)，密度 $\rho=3.75\text{ g/cm}^3$ 。

陶瓷材料常做成加强板插入软式防弹衣的口袋中，用以防御高速弹丸的打击。将陶瓷片按鱼鳞状搭接制成的陶瓷防弹衣，能够防御近距离直射的步枪弹、机枪弹，被称为第三代防弹衣。

陶瓷材料很硬，在弹丸撞击的瞬间可对其产生很高的阻力，并在弹丸内形成强冲击波和巨大的应力，使弹丸破裂或变形，同时，陶瓷材料在被撞击破裂时，可从弹丸内吸收很多能量，使其速度瞬间降低从而丧失贯穿力。

（三）聚碳酸酯

聚碳酸酯是一种热塑性工程塑料，它不仅具有很高的强度，而且具有良好的抗冲击性和可塑性，在被投射物撞击后不会出现裂纹或破碎的现象，也不会产生二次破片。此外，它还具有优良的透光性，其折光率可达 $N_D 1.46$ ，透明度可达 $(80\sim 90)\%$ 。

聚碳酸酯常用来制作透明的防暴头盔或防暴头盔的透明面罩、防暴盾牌或防暴盾牌上的观察窗、警用防暴车上的防弹玻璃、警棍和防弹眼镜等。

（四）防弹纤维与树脂的复合材料

复合材料是为获得一定的使用性能而将两种或两种以上的材料结合起来制成的。复合

材料能将几种材料的优点集中在一起,为防弹装备向理想化方向发展提供了可能。复合材料的种类很多,这里只介绍防弹纤维与树脂的复合材料。

将尼龙、玻璃纤维、凯夫拉等防弹纤维织物浸渍树脂,经热固模压制成复合材料。这种材料是目前广泛使用的一种复合材料。它具有防弹性能好、重量轻、易于加工成型等特点。军用、警用和民用的头盔,警用的防暴盾牌,软式防弹衣的加强板,硬式防刺衣的防刺层,都是用这种材料制作的。

四、软质材料——防弹纤维^[1]

用合金钢制作的防弹衣,不仅重量大,而且穿着不舒适。因此,人们一直渴望着能研制出一种高强度的防弹纤维,用其制成一种穿着舒适、轻便的软式防弹衣。

20 世纪 50 年代,尼龙作为第一个有意义的防弹纤维,被用来制作防弹衣。尼龙有尼龙 6 和尼龙 66,二战中由美国首次研制成功。实验和越南战争的实战结果均表明,尼龙防弹衣可以防御一部分弹片和低速子弹。由于尼龙强度不高,防弹能力有限,故未能普遍使用。

20 世纪 60 年代以来,随着化纤工业的发展,各国相继研制出一些高强度的防弹纤维,具有代表性的是一种芳香族聚酰胺纤维,我国称其为芳纶。其中以美国杜邦(DUPONT)公司生产的凯夫拉(Kevlar)和荷兰阿克苏(AKZO)公司生产的特瓦罗(TWRON)最为有名。这类材料重量轻、质地柔软、韧性好,强度是钢的 5 倍。用它制作的防弹衣,不仅防弹性能好,而且轻便、穿着舒适。以凯夫拉为首的高强度防弹纤维的使用使单兵防护装具的发展向前迈进了一大步。目前,发达国家的军、警、民用防弹衣几乎全是这类材料制成的。

20 世纪 80 年代研制的高强聚乙烯纤维,被认为是第三代防弹材料。它的强度是凯夫拉的两倍,并且在潮湿、化学腐蚀、紫外线辐射、刮擦等情况下仍能保持其防护性能。美国联合信号公司生产的斯派克特(SPECTRA),荷兰 DSM 公司(Dutch State Mines, 荷兰国家矿业公司)生产的迪尼玛(Dyneema)均属于这类材料。目前先进的软式防弹衣已经开始采用这种材料。

(一) 凯夫拉(Kevlar)

凯夫拉是一种芳香族聚酰胺纤维,其 1965 年诞生于美国的杜邦公司,1972 年投入工业化生产并开始付诸实用。该材料的特点是密度小,强度高,韧性好,耐高温,耐腐蚀,化学性质稳定,绝缘性能和纺织性能好且易于机械加工和成型。最初,它的优点并未被完全认识,人们仅把它用于加固轮胎铸模和输送带。但是专家们很快便发现,凯夫拉坚韧耐磨,此后不久就在军事上得到广泛应用,并迅速赢得“装甲卫士”、“防弹新秀”的美称。

凯夫拉具有优良的防弹性能,它的密度只有钢的 $1/5$,玻璃纤维的 $1/2$,但其强度却是钢的 5 倍,与高强度玻璃纤维的强度相近,而且经久耐用,不易老化。用它制作的防弹衣和头盔,不仅防弹性能好,而且轻便、柔软,穿着舒适,价格也合理。常用的凯夫拉纤维有两种,K-29 和 K-49。由于 K-49 刚性大,故适于做车辆、飞机、舰船的防护装甲;K-29 比较柔软、坚韧,是制作防弹衣的好材料。

凯夫拉的主要性能包括以下几点。

1. 物理性能

密度: $1.44\text{g}/\text{cm}^3$;

熔点：426℃。

2. 力学性能

抗拉强度：2760 N/mm²；

弹性模量：59G(K-29)；

断裂伸长：4%(K-29)，2.5%(K-49)。

3. 温度特性

在 10℃~240℃ 之间时，温度对凯夫拉纤维防弹性能的影响很小，但当温度超过 240℃ 时，该纤维的防弹性能将大幅降低，这一点在防弹衣的设计中必须予以考虑。我们知道，防弹衣在中弹后，弹头巨大的冲击动能受防弹层的阻挡而转化为弹丸和防弹层的变形能和热能，该热能能使弹头和防弹层的温度升高。为将温度限制在 240℃ 以下，就应适当控制动能转化为变形能和热能的比例。因为能量是守恒的，故增加向位能转化的比例，就会降低向热能转化的比例，从而也就控制了温度的升高。控制转化比例可从选材、结构设计和制作工艺诸方面考虑。单就选材而言，选用弹性模量较小的 K-29 比选用弹性模量较大的 K-49 更有利于降低弹丸冲击防弹层时产生的温度。在图 1-2 的应力变化图中，阴影部分的面积代表当应力相同时，两种纤维吸收能量的大小。显然 K-29 由于弹性模量小，因而变形大，吸收的能量多。

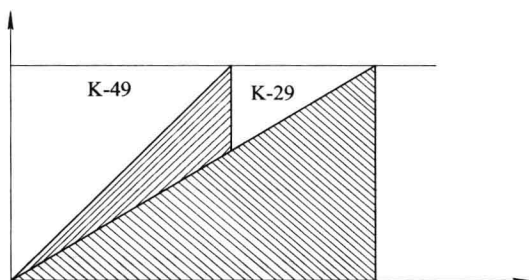


图 1-2 凯夫拉的应力变化图

4. 怕光怕水

凯夫拉纤维受紫外线照射时易发生变化而丧失防弹能力。若把该纤维的抗拉强度定为 1，则在阳光照射下，它的抗拉强度会急剧下降。当照射 2000 h 后，其抗拉强度将下降至 0.2 左右，见图 1-3。

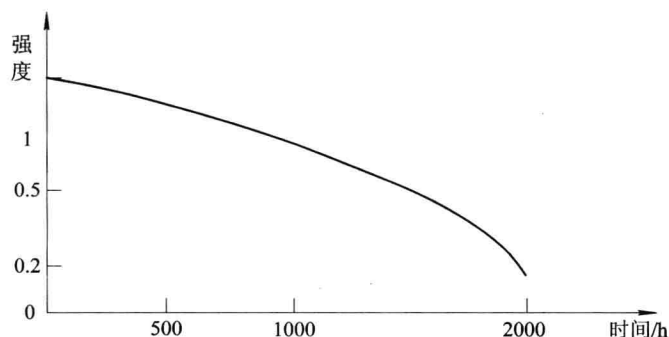


图 1-3 凯夫拉纤维的抗拉强度受紫外线照射后急剧下降

凯夫拉纤维受潮、淋雨或浸水后，会严重影响其防弹性能。

由上述可知，软式防弹衣中的凯夫拉防护层应加防光层和防水套，或在加工厂对防弹纤维进行防光防水处理，同时，防弹衣在储存中也应注意避光和防潮。

（二）迪尼玛(Dyneema)

迪尼玛是一种高强聚乙烯纤维，由荷兰 DSM 公司于 1984 年首次研制成功。目前日本、英国、美国及我国都在积极研制这种纤维。该纤维的强度是钢丝的 10 倍，抗拉强度可达 4000 MPa；比重低，只有 0.97；有很好的耐化学性和耐紫外线性；其原料非常广泛，成本较低。

迪尼玛纤维只含极少侧链。该纤维可用凝胶纺丝法在溶解状态下纺丝，在凝胶状态下拉伸，这样便可以达到完全结晶取向和高度结晶率。其主要缺点是熔点低，只有 150℃，但它是用于制造防弹装备的一种好材料。由于其具有强度高、价格低等优点，故非常适合部队大量装备。除用于防弹外，迪尼玛还可用于航海、汽车制造、运输带制造等。几种高强度纤维的性能比较见表 1-2。

表 1-2 几种高强度纤维的性能比较

种 类	比重	抗拉强度/GPa	抗拉模量/GPa	断裂伸长/%	熔点/℃
特瓦罗	1.44	3.000	67.00	3.3	480
凯夫拉 29	1.44	2.760	59.00	4.0	426
凯夫拉 49	1.44	2.744	124.00	2.75	426
迪尼玛	0.97	3.762	112.00		150
E-玻璃纤维	2.54	3.449	72.52	4.8	

第二节 防护性能基本要求

单兵防护装备是用来保护自身免受伤害的一种个人装备。它对防护性能的基本要求是：既要阻止投射物击穿，又要防御非贯穿性伤害。下面就这两方面分别加以讨论。

一、抗穿透能力^[1]

（一）抗穿透能力的概念

单兵防护装具抵御投射物贯穿的能力称为抗穿透能力。由于这种防护能力通常与一定枪械发射的弹丸或一定规格、速度的弹片相对应，所以也称防弹级别。抗穿透能力是单兵防护装具防护能力的标志，它的强弱在很大程度上取决于材料防护性能的好坏和防护层的厚度。材料的防护性能越好、防护层的厚度越大，抗穿透能力也就越强。实用中，单兵防护装具的抗穿透能力是用防护等级来标称的。

（二）防护等级

世界各国都根据本国、本地区常用的武器弹药，相对应地制定了各自的防护等级标准。例如美国司法协会制定的 NIJ Stander 0101.03，就美国的防弹衣规定了 6 个等级；法国的 VGEOMA 公司把防弹性能标准定为 I、II A、II 和 II + 共 4 级；英国的 LAB 公司把