

防弹复合材料的研究进展*

Advances in Bulletproof Composite Materials

刘贻尧 王伯初 赵虎城 李曙光**
Liu Yiyao Wang Bochu Zhao Hucheng Li Shuguang

(重庆大学生物工程研究院, 教育部生物力学及生物流变学开放研究实验室 重庆 400044)
(Chongqing University, Bioengineering Research Institute and SECC S
Open Laboratory of Biomechanics and Biorheology, Chongqing, 400044, China)

摘要 介绍防弹复合材料的设计要求、研究进展和目前仍存在的问题, 以及防弹复合材料在人员防护领域中应用前景, 为防弹复合材料的设计提供了初步的轮廓。认为先进防弹复合材料是当今防弹材料的发展趋势。

关键词 人员防护 防弹复合材料 弹道性能 材料设计

中图法分类号 TJ 04

Abstract The novel research, elemental demands and application of bulletproof composite materials are introduced, The rough outline of bulletproof composite materials to design is discussed. The developing tendency of advanced bulletproof composite material is prospected.

Key words human protection, bulletproof composite material, ballistic performance, material design

人员防护问题由来已久,它无论在过去还是在将来的许多情况下仍是一个重要问题。现在警察、士兵穿的防弹背心、防弹头盔等是人员防护的主要组成部分。近年来,随着机动车辆数量的急剧增加,由此而引起的创伤数量也不断增加。据统计,我国每年创伤致死人数已近 10 万,伤数百万人^[1]。例如,胸部撞击伤是平时暴力事件,特别是交通事故中常见伤类,这也是人员防护的一大领域。现在,局部战争中爆炸伤的比例相当高,高科技在军事中的应用,使得爆炸伤情更为复杂,同时对人员的防护问题提出了严峻的挑战。为了减少生命财产的损失,目前各国国防领域的科学家们正对防弹材料进行各种优化设计,复合材料由于综合了增强材料和基体各自的优点,具有极为优异的性能,也是发展最快、最有前途的用于防弹的材料(尤其是纤维复合材料)。本文讨论防弹复合材料的设计要求、研究进展及其有关应用。

1 对防弹复合材料的基本要求

众所周知,防弹复合材料是用来防弹用的,但仅

1999-12-15 收稿, 2000-02-28 修回。

* 国家自然科学基金资助项目 (编号: 39770206)。

** 第三军医大学野战外科研究所,重庆, 400042 (Research Institute of Field Surgery, The Third Military Medical College, Chongqing, 400042)。

这种理解还不够全面。防弹复合材料的根本目的在于防弹体的冲击和冲击波,因此,要求其有较好的防弹性。对不同的防弹衣,研制的具体要求不尽相同,但其基本要求不外乎是以下 3 个方面: (1) 防弹材料吸收的能量越多越好。这是最基本的要求,如果所设计出来的防弹复合材料其能量的吸收率比目前的防弹材料高 10% 甚至 20%, 而其他条件又相当的话,那么,这种防弹材料的前途是非常看好的; (2) 设计出来的防弹复合材料质量越轻越好。用质量轻的防弹复合材料做成的防弹衣、防弹头盔等,让人穿着轻便舒适,心里上容易接受,但质量减轻往往是非常困难的; (3) 造价要低。造价低的防弹复合材料,易于推广生产,易于实现产业化,在国际市场上具有竞争力。

上述的三点要求,对防弹材料的设计者来说,只要能做到其中一点,而材料的其他性能又相当的话,那么,这种防弹复合材料的设计是比较成功的。

2 防弹复合材料的研究进展

战伤、创伤是军事医学的重要组成部分,而人体防护是其中一个重要方面。在古代,人类由于自然灾害、狩猎、械斗、打仗等发生战伤、创伤时,人们首先想到的是如何防护自己免受伤害。在当时由于没有枪炮,因此其防护材料非常简陋,例如,古代战争中用的盾,此外,还有使用干兽皮作为防护工具,这些

东西还不能称之为复合材料。但是随着科学技术的日新月异,各类新型的杀伤性武器出现,复合材料的研究有了飞速的发展,各种不同用途的新型复合材料不断涌现。现在复合材料正发展成为一个庞大的技术体系,复合材料有关理论、防护机理日臻完善和计算机新分析方法的不断出现^[2],为防弹复合材料的研究提供了新的手段。纤维增强树脂基复合材料具有轻质、高强、工艺性能好、弹道性能优异等特点,是发展较快的一种新型防弹材料。早在1989年,纤维增强树脂基复合材料防弹制品在北美及西欧的防弹市场上,就已占总产量的45%^[3]。目前常用的纤维材料有:芳纶纤维(TF),超高分子量聚乙烯纤维(DF),玻璃纤维(GF),碳纤维(CF)。它们在防弹复合材料中的应用各有优点。建国后,我国在防弹材料的研制方面也取得了令人鼓舞的成就,据作者所知,第三军医大学大坪医院野战外科研究所研制的防雷靴和BPV-I、II型防弹背心,还是较为成功的。另外,国家航空航天部也在这方面做出了突出性的贡献^[4]。现在我国的装甲(诸如坦克)防弹性也逐渐接近世界先进水平,防弹复合材料不仅用于防弹背心和防弹头盔等近身防护上,还应用于军用车辆和运钞车等领域,防弹复合材料背板和陶瓷面板组成的复合装甲是运用于武装直升机最理想的轻质装甲^[5,6]。

现代战争中,一般有3种比较普遍的创伤,即火器伤、冲击伤和复合伤^[7]。致伤原因不同,对防弹复合材料的设计要求也不尽相同。根据致伤原因可以把防护材料分为三类:一类是防护高能创伤(高速枪弹、破片等)防护材料。根据有关人员研究,高能创伤不仅可以造成伤道局部组织的广泛性损伤,而且会对其远隔部位脏器(指与伤道无直接解剖联系的远隔脏器)产生不同程度的损伤,其主要病理特点表现为心、肺、脑等脏器的点片状出血,这种损伤称之为“远达效应”^[8-11]。鉴于此,对这种防护复合材料的设计侧重于弹体动能的吸收,同时考虑弹体与复合材料作用瞬间复合材料的温升问题,因为局部温度过高,会使基体与纤维产生分离而使复合材料易于破坏。第二类是用于防冲击波的防护材料。核爆炸、常规武器的爆炸以及厂、矿因意外事故而造成的爆炸,均在空气中形成冲击波,当其强度和冲量达到一定限度时将引起人体组织的破坏,造成致伤或死亡。另外,近年来,随着武器的不断更新,武器威力日益增加如现代火器系统(如大口徑火炮,肩扛反坦克武器等)出膛时空气冲击波对操作人员的健康有所损害,其对空气冲击波重复作用的生物学效应也有报道^[12-14]。肺是冲击波的靶器官,损伤发生率最高,对于这种冲击波侧重

于肺的防护^[15],其复合材料的设计侧重于吸收冲击波的能量,减少冲击波的强度和冲量,一般应用泡沫组织(如发泡镍)效果较好。第三类是防冲击伤复合破片伤的防护材料。破片和冲击波是爆炸性武器的主要致伤因素。除破(弹)片致伤外,在爆炸近区常可同时合并冲击伤。这类复合材料的设计较为复杂,在设计过程中要综合考虑各种因素,而我们平时所指的防弹复合材料恰恰是指这一类,也是最适用的一类。上述三类防弹复合材料并非严格区分的,只是要求根据不同的使用环境和致伤原因设计出更为合理的防弹复合材料。

当然,防弹复合材料的设计并非想象中的那么简单,它并非是几种材料的简单复合,每种材料的选择都经过了很多次试验,并且在制作成防弹背心等时还要经过有关技术处理,如有一种防弹背心的复合材料构成为:外层和里层的面料为锦纶绸,中间依次发泡镍(厚1cm),LC4超硬铝合金(2mm),均质海绵和海绵条。其防护机理可能是:发泡镍“虑波效应”作用;LC4超硬铝合金反射作用和条状海绵的缓冲作用^[16,17]。对于同一种防弹复合材料,由于用于防护的环境条件的不同,其防护效果可能不同,如Kevlar防弹背心尽管对破片有较好的防护效果但对肺冲击伤非但起不到防护作用,而且加重肺冲击伤^[18]。因此,在设计防弹复合材料时,一定要考虑致伤原因,从而为人体提供更好的防护效果。

3 当前防弹复合材料仍存在的问题

由于防弹复合材料是由多种材料复合而成的,因此,复合材料的不均匀性、各向异性、本构关系复杂、破坏机理复杂和强度准则复杂等,是复合材料及其结构的主要力学特点,从而增加了复合材料及其结构、防护机理的分析、计算、测试和设计的复杂性难度,作者认为现在的防弹复合材料仍存在以下几个问题:(1)能量吸收的程度不够。这就增加了防弹复合材料使用的不安全性,尤其是现代武器的日益先进,破坏致伤能力越来越大,因此今后的研究工作要在这方面下大功夫,提高防弹性能和安全使用系数;(2)质量不够轻。质量的轻重与否决定这种防弹复合材料能否推广使用的一大因素,应在保证良好的防弹性的前提下,尽可能地减轻防弹复合材料的质量;(3)强化和增韧的矛盾。这一矛盾也往往难以克服,复合材料中某些增韧材料的加入可能会导致材料强度的下降,而若增加材料的强度,则其韧性可能下降,因此,要寻找强度与韧度的最好结合点,这往往需要经过多次实验;(4)关于复合材料的相容性问题。这种相容性

包括物理、化学、力学等方面,使它们彼此和谐地一起发挥防护作用

另外,还有界面和价格等方面的问题,也没有得到完全彻底地解决,随着今后科技的发展这些问题会逐一地得到解决,使之更好地应用于人员防护。

4 结语

尽管在防弹复合材料研究方面已取得了辉煌的成就,人类已进入了复合材料时代^[19],但是对于先进防弹复合材料的研究仍需要做大量的工作,先进防弹复合材料具有高比强度、比模量、可设性和多功能性,它是人员防护和现代精良武器装备的关键基础技术,是实现先进设计的物质基础,在许多军事应用中是必不可少的。这些尚需要材料学家、力学家、物理学家和生物医学工程学家的通力合作。

参考文献

- 1 王正国. 我国创伤救治现状. 解放军医学杂志, 1998, 23 (5): 401.
- 2 余寿文, 冯石桥. 损伤力学. 北京: 清华大学出版社, 1997. 1-10.
- 3 Weatheall James M, Rappaort Marks, Morton James T. The outlook for advanced armor materials. California Society for the Advancement of Material and Process Engineering, 1990, 22 1070~ 1077.
- 4 王震鸣等. 复合材料及其结构力学. 设计、应用和评价. 第1册. 北京: 北京大学出版社, 1996. 15~ 21.
- 5 张佐光, 霍刚, 张大兴等. 纤维复合材料的弹道吸能研究. 复合材料学报, 1998, 15 (2): 74~ 80.
- 6 Lleslie N Phillips. 复合材料的设计基础与应用. 理有亲等译. 北京: 航空工业出版社, 1992. 200~ 235.
- 7 程天民. 创伤战伤病理学. 北京: 解放军出版社, 1992. 133

~ 135.

- 8 安波, 刘荫秋, 李曙光等. 高能创伤时血液流体力学的非线性变化及其对脏器的损伤. 中国生物医学工程学报, 1997, 6 (1): 13.
- 9 周尔东, 陈尔瑜, 刘荫秋等. 腹部枪伤脑时部分动脉的远达效应其临床意义. 中华创伤外科杂志, 1995, 11 (6): 281.
- 10 Liu Yinqiu, Li Shuguang. Anbo Mechanism, exploration and characteristics of the remote effects of projectiles. J Trauma (Chin), 1990, 6 (2) suppl 16.
- 11 Suneson A, Hansson H. Peripheral high energy missile hits cause pressure and damage to the nervous system experimental studies on pigs. J Trauma, 1987, 27 782~ 789.
- 12 杨志焕等. 空气中冲击波重复作用生物效应. 爆炸与冲击, 1991, 11 (2): 170.
- 13 Richmond D R et al. The biological effects of repeated blasts. DNA 5842F. 1981.
- 14 Pfander F et al. Report to NATO Panel VIII RSG-6, Effects of Impulse Noise. May, 1983.
- 15 Stuhmiller J H, Ho K H, Vander Vorst M J. A model of blast overpressure injury to the lung. J Biom ech, 1996, 29 (2): 227~ 234.
- 16 杨志焕, 黄建钊, 王正国等. 冲击伤复合高速破片致伤的损伤特点和冲击伤防护研究. 爆炸与冲击, 1998, 18 (2): 164.
- 17 李晓炎, 杨志焕, 王正国等. 发泡镍对激波衰减作用的研究. 第三军医大学学报, 1998, 20 (6): 538.
- 18 Pilips Y Y, Yelverton Jt, Richmord DR et al. Cloth ballistic vest alters response to blast. Presented at the Fifth International Symposium on Wounded Ballistics. Goteburg, Sweder June, 1985.
- 19 Piatti G. Advances in composite matetials. London Aplied Swerce Publishers, 1978. 1~ 20.

(责任编辑: 蒋汉明)

日本科学家使用 DNA演算复杂数学难题获得成功

据日本新闻媒体报道,日本东京大学科学家最近让不同的 DNA(脱氧核糖核酸)在试管中进行化学反应,结果成功地进行了复杂数学难题的演算。据称,这一成果表明开发生物计算机的研究又向前迈进了一步。

参与这一研究的科学家坂本健作说,此项研究运用的原理是,让30个碱基按照不同的排列组合成不同的DNA,并且使这些DNA具有不同的数学意义,然后把它们放在试管中进行化学反应。化学反应完毕后,科学家把连接起来并折叠在一起的部分算作不正确解,然后对剩余的DNA进行分析,从而找到正确的解。科学家对名叫“3-SAT”的数学难题的演算结果表明,这一“DNA计算机”具有运算能力。它在一瞬间就区分了正确解和不正确解。

坂本认为, DNA计算机的信息密度高,能够进行并行运算,它的运算速度有可能大大超过超级电子计算机。据介绍, DNA计算机是一种生物计算机,这种计算机技术是美国南加州大学A·艾德鲁曼教授在1994年首次演示出来的。它用构成DNA的4种碱基作元件,能进行复杂的数值运算。与量子计算机一样,生物计算机是未来新型计算机之一。目前,世界上所有科学技术发达的国家都在加紧对生物计算机进行研究开发。

(摘自《科学时报》2000年5月26日)