

# 坦克

## 装甲车辆设计

防护系统卷

冯益柏 主编



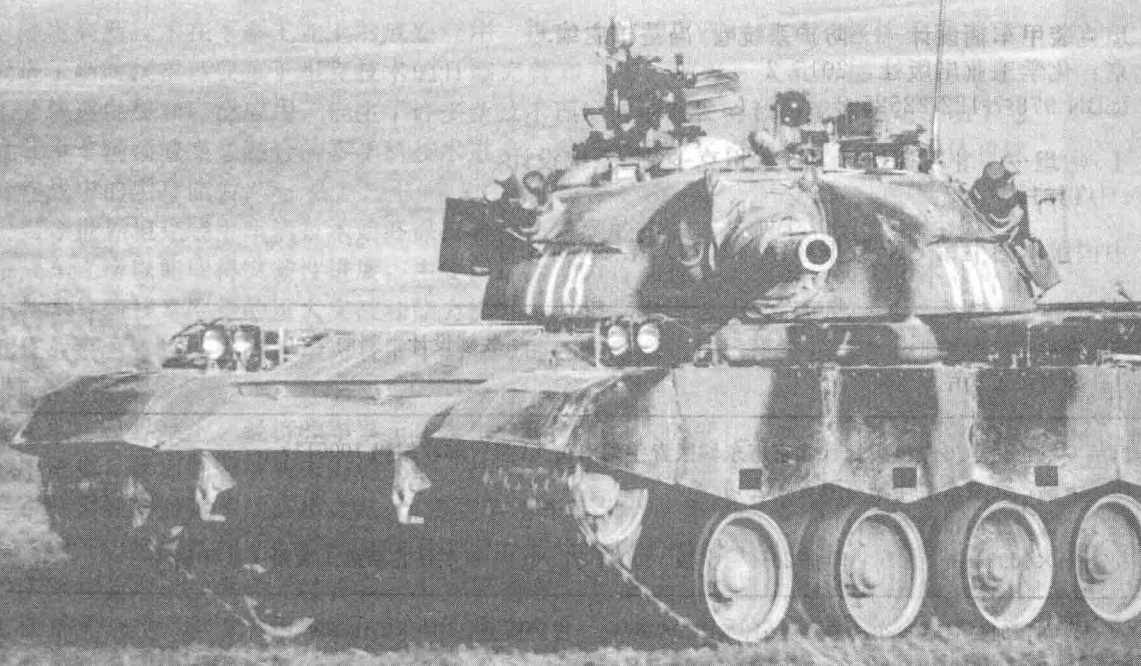
化学工业出版社

# 坦克

## 装甲车辆设计

### 防护系统卷

冯益柏 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书较为详细地介绍了装甲防护，坦克车体与炮塔，坦克隐身防护，坦克常规防护（防地雷、“三防”、防火、制造烟幕等），主动防护和综合防护设计等内容。另外，对坦克装甲车辆防护基础知识、装甲材料的性能与选用也做了较为详细的介绍。

本书对坦克装甲车辆研究、设计、制造等技术人员有很好的参考价值，也可作为相关专业教学用书。

# 坦克装甲车辆设计

## 防护系统卷

### 图书在版编目 (CIP) 数据

坦克装甲车辆设计——防护系统卷/冯益柏主编.

北京: 化学工业出版社, 2015. 2

ISBN 978-7-122-22525-2

I. ①坦… II. ①冯… III. ①坦克-防护-系统设计  
IV. ①TJ811

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 293308 号

责任编辑: 仇志刚

装帧设计: 刘丽华

责任校对: 王素芹

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装订: 三河市胜利装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 26 $\frac{1}{4}$  字数 1000 千字 2015 年 4 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 180.00 元

版权所有 违者必究

# 《坦克装甲车辆设计》编写人员名单

编委会主任：王玉林 冯益柏

主 编：冯益柏

副 主 编：白晓光 李春明

编 委（按姓氏笔画排序）：

马英新	王 宇	王 晶	王少军	王玉林	王曙明
石 磊	叶 明	白晓光	冯益柏	宁功韬	吕小岩
刘 勇	苏 波	杜 宏	李 萍	李 毅	李春明
李福田	杨玉淳	张文超	张玉龙	张立群	张存莉
张树勇	张振文	卓 峰	周广明	周黎明	孟 红
赵银虎	官 平	徐劲松	凌 云	唐 进	黄 健
曹 宁	曹 辉	曹福辉	窦铁炎	魏道凯	

# 序

第二次世界大战确定了坦克“陆战之王”的主体地位。自1916年诞生以来至今，坦克已经走过了百年的辉煌发展历程，在战场上显示出强大的作战能力，成为现代陆军的主要“杀手锏”，一直在各国陆军装备中占据极其显赫的重要地位，故而受到了各国的高度重视，使坦克一跃成为一个国家国防力量和综合国力的重要象征。

20世纪90年代以后，各国主战坦克的发展速度虽然放缓，但都在致力于高新技术的应用和新型坦克车辆的研制工作。以美国为首的西方坦克大国在传统坦克设计理念上已经发生了创造性的变革。多功能、智能化、轻型化、网络化赋予了坦克装甲车辆新的内涵和时代技术特征，进一步催生了以坦克为标志的“装甲时代”向以网络化武器平台为标志的“精确打击信息化时代”转型。目前世界上第四代坦克装甲车辆仍在探索之中，它的面世和装备部队仍需相当长的一段时间，但近几年高技术局部战争的经验表明，保持并发展一定数量、技术先进的主战坦克是各国军队长远核心能力建设的必然需要。因此，各国仍积极以技术改进提升和研制新型坦克来加快坦克装备更新换代步伐。

随着高新技术在军事工业上的成熟应用，极大地推动了现代坦克的整体发展进程，也促进了新时代军事变革下坦克技术的日臻完善和升华。随着一大批新技术、新原理、新工艺快速发展和广泛应用，催生了许多新技术理论的创造发明和持续演化，带动了与坦克装甲车辆领域交叉融合的多学科技术进步，也更加强化了坦克装甲车辆在立体攻防联合作战中的生存能力。

当今世界坦克装甲车辆技术始终保持着快速发展的态势，新型主战坦克、新型轮式装甲战车之所以能取得突破性进展，主要归结为动力传动技术、主被动防护技术、车辆电子技术等新技术取得的重大突破和能力提升，使坦克迅速成为具有高技术特征的陆军机动作战平台。这一期间，坦克装甲车辆领域的创新概念与技术研究正逐步成熟和发展起来。

当前，世界政治、经济和军事正在发生着深刻和巨大的变化，无论是发达国家还是发展中国家，都面临着前所未有的挑战。技术创新是一项事业、是一个行业迅速发展乃至一个国家强国和强军的必由之路。《坦克装甲车辆设计》系列专著图书是在系统学习和借鉴国外坦克的基础上，科学总结我国坦克装甲车辆和轮式装甲车辆20余年研制工作的实践经验与成功做法，结合我国陆军机械化、信息化装备建设的具体需求，从10个方面系统论述了坦克装甲车辆的技术发展路径、创新性设计思想和工程设计方法。主编冯益柏同志作为兵器首席专家，凭借在坦克装甲车辆从业30余年的丰富经验，在诠释坦克装甲车辆及其技术主要特征与技术创新思想的表现形式上，以独特的技术视角和丰富的工程实践积淀的真知灼见，对坦克装甲车辆及其技术，从理论创新和工程应用上做了深入研究和催人思考的总结与提炼，本专著图书在关键领域中提出的创新性概念、

工程技术方法以及典型系统的发展演变与技术特征等内容，在总体编排上脉络清晰、结构严谨、数据翔实可靠，具有极强的实用性、先进性和工程指导性，最优地实现了理论与实践的有机统一。本专著图书提出的设计理论、研究方法以及各卷中所涉及的主要技术论点与研究体系，为我军主战坦克的发展论证提供了有价值的信息和可借鉴思路，值得从事坦克装甲车辆的专业人士深入研究和思考，是推动我国坦克装甲装备技术创新的良师益友，也是我国坦克装甲车辆工程研制人员的重要参考。

十八年前，因科研工作我与冯益柏同志相识，与坦克装甲车辆事业结缘，此后一路同行，深深被他对发展我国坦克装甲车辆科技的强烈使命感、创新精神和卓越业绩而感动。该系列专著图书倾注了主编冯益柏同志、主要编者和广大工程研究人员的大量心血和智慧汗水。该专著图书的出版，必将为坦克行业提供坚实的基础理论和工程方法，更加坚定我国坦克专业技术领域产生诸多创造与发明的信心，推动我国坦克装甲车辆事业走向新的辉煌。

2004年11月

中国工程院院士、吉林大学校长

# 前言

坦克具有强大的直射火力，远距离精确打击能力，快速的越野机动性，坚固的装甲防护能力和反应快速的指控系统，是地面作战的主要突击兵器，也是装甲部队的基本装备，在武器装备中占据极其重要的地位，特别是主战坦克是一个国家国防力量的象征和综合国力的体现。

坦克自1916年问世，世界各国研制出多种类型的坦克，均在战场上展示出强大的作战能力，故而受到各国的高度重视，均投巨资大力研发。到目前为止，坦克已发展到三代，三代坦克在技术上取得了前所未有的进步。它将当代科学技术的最新成就集于一身，特别是计算机、激光、自动控制、热成像、综合电子技术、数据多路传输技术、定位导航技术、装甲、隐身，主动和综合防护技术等，在坦克中应用，使坦克设计与制造技术得到快速发展，战技性能大幅度提升。

现代坦克已成为陆军的机动作战平台，配备了大威力、高膛压、高初速火炮和多种高性能常规或制导弹药，装弹自动化，高水平的火控系统，安装了大功率，高紧凑发动机及高功率密度液力机械综合装置。采用了各种隐身伪装、装甲防护和特种防护，发展了综合电子信息系统，使坦克技术进一步完善和提高，这些设计与制造技术也应用于坦克协同作战的步兵战车，装甲运输车，和各种配套车辆，使整个装甲战斗车辆的设计与制造发生了质的提升和飞跃，战技性能明显提高。

随着高新技术在军事工业上的应用，以及未来战争特点的变化，坦克的发展也面临十分严峻的挑战，目前世界各国在新一代坦克设计与制造中广泛采用新的设计思想与理念，一大批新原理，新技术，新工艺在设计与制造中得到应用，使新一代坦克设计与研制取得了长足进步。

为了普及并总结坦克设计基础知识和实用技术，推广并宣传近年来在新一代坦克设计与制造中出现的新原理、新技术和新工艺成果，笔者编写了《坦克装甲车辆设计》系列图书。系列图书共有十卷，分别为：总体设计卷，武器系统卷，动力系统卷，传动系统卷，行走系统卷，防护系统卷，综合电子信息系统卷，履带式战车卷，轮式战车卷，坦克装甲车辆可靠性卷、维修性及保障性卷。

本书突出实用性、先进性，可操作性，侧重将理论与实践相结合，用实用数据和实例说明问题，全书结构清晰严谨，语言精练，数据翔实可靠，信息量大，适用性强，是本行业研究、设计、制造、管理、教学人员必备必读之书，若本书的出版发行能对我国新一代坦克装甲车辆的设计与制造起到促进与指导作用，笔者将感到十分欣慰。

《坦克装甲车辆设计》的出版是件幸事，然而由于水平有限，文中不妥之处在所难免，望读者批评指正。

编者

2014.7

# 目录

## 第一章 坦克防护系统概论

第一节 简介	1
一、坦克防护系统的构成	1
二、坦克防护系统的要求	4
第二节 坦克装甲防护	5
一、战场威胁	5
二、改进型钢装甲	5
三、复合装甲	6
四、附加装甲	6
五、电装甲	7
六、另类附加式间隔装甲	8
七、车内乘员的保护措施	9
第三节 坦克隐身防护	10
第四节 坦克主动防护	11

一、威胁的特征	11
二、坦克装甲车辆的主动防护系统	12
三、主动防护及其应用	12
第五节 坦克综合防护	14
一、简介	14
二、告警装置	14
三、激光压制观瞄装置	15
四、烟幕装置	16
五、红外干扰装置	16
六、反坦克导弹拦截装置	17
七、二次效应防护技术	18
八、三防技术	20
第六节 坦克装甲车辆防护发展策略	22

## 第二章 坦克装甲防护设计技术

第一节 基础知识	23
一、简介	23
二、装甲防护材料的类型与特点	24
三、装甲防护的类型及其性能	27
四、装甲防护系统的分析和设计	34
第二节 金属装甲设计	36
一、装甲钢与钢装甲	36
二、铝合金与铝装甲	48
三、钛合金与钛装甲	57
第三节 陶瓷装甲设计	60
一、简介	60
二、陶瓷装甲的品种与性能	62
三、梯度陶瓷装甲	70
四、陶瓷装甲的弹道性能与适用性	77
五、陶瓷装甲抗弹性评价方法与评价实例	80
第四节 防弹纤维复合材料装甲	88
一、简介	88

二、防弹纤维复合材料的品种与性能	90
三、纤维复合材料的抗弹性能	109
第五节 复合装甲设计	114
一、简介	114
二、复合装甲类型与特点	116
第六节 坦克反应装甲的设计	125
一、反应装甲基础理论	125
二、反应装甲的结构设计	128
三、反应装甲类型与性能	129
第七节 透明装甲	135
一、总体设计	135
二、透明聚合物与透明装甲	138
三、抗弹玻璃与透明装甲	140
四、抗弹陶瓷与透明装甲	140
第八节 新概念装甲	142
一、电装甲	142
二、智能(灵巧)装甲	146



## 第三章 坦克车体与炮塔的设计技术

第一节 简介	147
一、设计思路	147
二、设计原则与配置	148
第二节 坦克车体的设计	149
一、简介	149
二、车体设计的步骤和内容	153
三、车体结构形式的设计	153
四、装甲板的焊接形式	155
五、车体各总成设计	156
六、薄装甲车体的刚度和强度问题	160
七、车体设计的基准	160

第三节 坦克炮塔的设计	160
一、简介	160
二、对炮塔设计的要求	163
三、各种炮塔方案及其结构特点	163
四、炮塔体形状设计	165
五、炮塔结构设计	166
六、车体和炮塔的密封	168
第四节 复合材料车体与炮塔的设计	171
一、国外复合材料车体研制状况	171
二、国外复合材料炮塔研制状况	173
三、复合材料车体的设计与制造	174

## 第四章 坦克隐身防护设计

第一节 概述	176
一、简介	176
二、隐身材料与结构设计	184
第二节 隐身吸波剂品种与性能	192
一、磁性吸波剂	192
二、隐身纤维吸波剂	197
三、视黄基席夫碱盐吸波剂	207
四、导电高分子吸波剂	208
五、隐身纳米吸波剂	214
六、手性与放射性同位素吸波剂	217
第三节 可见光隐身防护	218
一、简介	218
二、可见光隐身迷彩涂料	219
三、新型可见光隐身防护材料	230
四、多波段隐身材料	233
第四节 红外隐身防护	234
一、简介	234
二、红外隐身低发射率设计	238
三、降温红外隐身设计	241

四、红外隐身结构防护设计	244
五、红外隐身材料的消光系数	246
六、红外隐身效果的评估方法	247
第五节 雷达吸波隐身防护	249
一、简介	249
二、雷达波吸波涂料	252
三、结构吸波隐身的设计与制备	258
四、坦克雷达隐身外形设计	264
第六节 激光隐身的设计	267
一、激光隐身技术	267
二、激光隐身材料	269
三、激光隐身效果评价方法	277
第七节 多频谱兼容隐身	279
一、多频谱兼容隐身技术	279
二、红外/雷达隐身的设计	284
三、红外/激光复合隐身的设计	292
四、雷达/激光复合隐身的设计	293
五、多频段兼容雷达隐身的设计	294

## 第五章 坦克常规防护设计

第一节 坦克反地雷设计	297
一、坦克防雷技术	297
二、坦克装甲车辆反地雷反伏击技术的研究与发展	300
第二节 坦克“三防”设计	305
一、三防系统简介	305
二、“三防”系统的组成与结构	308
三、“三防”系统的性能与使用维护	314
第三节 坦克灭火系统设计	321

一、概述	321
二、80式灭火系统	326
三、85式灭火系统	337
第四节 坦克烟幕设计	351
一、简介	351
二、抛射式烟幕装置	351
三、热烟幕装置	352
四、烟幕防护影响坦克作战效能的仿真分析	353

## 第六章 坦克主动防护系统的设计技术

第一节 简介	357	一、主动防护系统的最佳拦截区域	372
一、坦克主动防护的提出	357	二、坦克主动防护系统弹药毁伤效能评估	375
二、坦克主动防护系统简介	359	三、“硬杀伤”主动防护系统(APS)设计	377
第二节 坦克主动防护系统的总体设计	365	第四节 典型主动防护系统的分析与建议	379
一、主动装甲防护系统防御构思	365	一、典型主动防护系统	379
二、功能设计	366	二、主动防护系统缺陷分析	385
三、主动防护的总体技术设计	366	三、主动防护系统的发展趋势	387
四、影响主动防护总体技术的几个因素	368	四、发展坦克装甲车辆主动防护系统的建议	387
五、关键技术分析	368		
六、主动防护系统的组成	370		
第三节 主动防护系统方案设计	372		

## 第七章 坦克综合防护设计

第一节 坦克防护问题的分析	390	第二节 坦克综合防护系统的设计	394
一、坦克面临的威胁	390	一、总体设计	394
二、坦克防护原则	391	二、设计方案	397
三、坦克弹道防护	393	三、研究进展	404

## 参考文献



## 第一章

# 坦克防护系统概论

## 第一节 简介



坦克结构的一个重要特点就是乘员、各种装置与设备几乎都包裹在厚厚的装甲之中。这些装甲发挥着抵御敌方武器攻击、保护车辆中各种装置和乘员的作用，它使得坦克变成了地面武器中令人生畏的移动堡垒。

虽然坦克具有厚厚的防护装甲，但由于现代反坦克手段的威力和多样性，迫使坦克要继续提高综合防护能力，以减小和降低反坦克武器对坦克的损伤。其中一个方面就是要大力发展和完善防护装甲，以提高坦克的战场生存力。据报道，美国 M1A2 主战坦克装甲正面防御能力相当于 1000~1200mm 厚均质装甲；俄罗斯 T-90 主战坦克在安装嵌入式“接触”与附加装甲后，防穿甲弹能力为 1020~1220mm、防破甲弹能力为 780~810mm 厚的均质装甲。

坦克装甲车辆的防护原则：

- ① 减少车辆可发现性和可识别性；
- ② 一旦被发现要避免被击中；
- ③ 如果被击中，不要被击穿；
- ④ 防止车辆被摧毁。

### 一、坦克防护系统的构成

坦克装甲车辆的防护系统是坦克装甲车辆上用于保护乘员及设备免遭或降低反坦克武器损伤的所有装置的总称。

坦克诞生之初，其防护系统仅包括装甲防护一项内容，其主要目的是为了对抗机枪弹的攻击。随后为了减少坦克发动机经常起火造成的损失，又在坦克内增设了灭火器。核武器出现



后，为了使坦克能在核条件下作战，坦克上又安装了“三防”装置，不但使坦克具有了在核条件下作战的能力，同时还使坦克具有了对付生物武器、化学武器的手段。中东战争以后，坦克上用于防护的设备和技术不断增加，例如迷彩涂料、隐身涂料、复合装甲、自动灭火抑爆装置、烟幕装置、红外干扰装置、反坦克导弹拦截装置等。这些用于坦克防护的新装置、新技术的出现，极大地提高了坦克的战场生存力。从某种意义上来说，正是防护促进了坦克的诞生，又是防护的不断进展给坦克注入了新的活力，使坦克在不断出现的新型反坦克武器面前顽强地生存了下来。

在现代高技术战争的战场上，坦克装甲车辆会受到各种各样的威胁。这些威胁按方位划分有来自顶部、前部、后部、侧部、底部各个方向，按弹药种类划分则有穿甲弹、破甲弹、航空炸弹、反坦克子母弹、精确制导炮弹、榴弹、反坦克火箭弹、反坦克导弹、反坦克地雷等。图 1-1 示出了这些威胁的种类和方位。

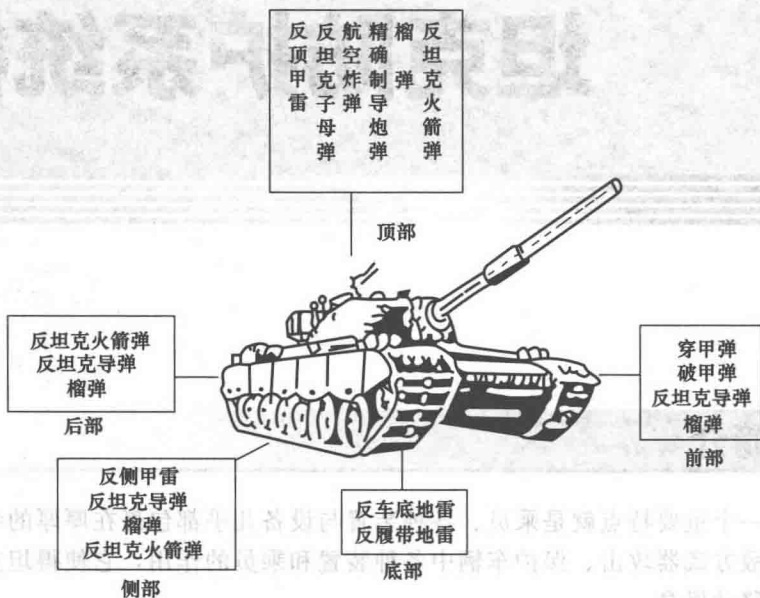


图 1-1 现代坦克所受反坦克弹药的威胁种类和方位

为使坦克装甲车辆免遭或减少反坦克武器造成的损伤，坦克装甲车辆可采取的措施有：

- ① 减少被发现的概率；
- ② 减少被命中的概率；
- ③ 依靠自身装甲抗击反坦克弹药的攻击，减少装甲被击穿的概率；
- ④ 减少弹药产生“二次效应”的概率；
- ⑤ 安装核辐射、生物武器、化学武器的防护装置（简称核、生、化防护装置或三防装置，下同）。

现代坦克的防护就是按上述 5 个方面采取措施的。

轻型装甲车辆由于作战使用要求不同，其防护性能与坦克相比有一定差别。通常根据作战要求加以配置。

现代主战坦克的防护系统，由多种高新技术装置综合而成，是一个相对庞大和复杂的系统。它主要包括：装甲防护，伪装与隐身，综合防御，二次效应防护，三防。在这五大防护技术中，每一项又包含若干项具体内容。坦克防护系统的总体构架与各部分的具体内容如图 1-2 所示。

上述防护技术有各种分类方法，通常，除装甲防护技术外，其他防护技术通称为特种防护

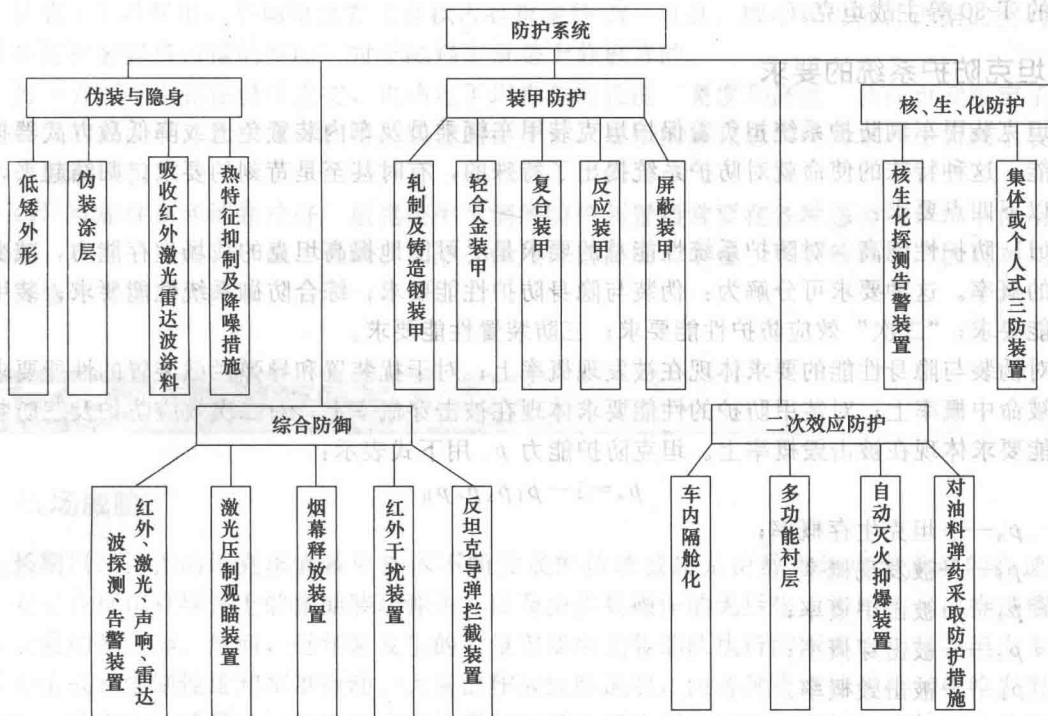


图 1-2 现代坦克防护系统

技术。也有人将其划分为两大类，即主动防护技术和被动防护技术。前者指综合防御技术，后者指其余几种防护技术。还有人把坦克防护技术划分为硬防护技术和软防护技术。硬防护技术指装甲防护，其余则为软防护。上述划分方法虽不同，但防护技术的基本内容是完全一致的。

在坦克的火力、机动、防护三大性能中，防护具有重要的地位。就战场这一特定环境而言，坦克防护是其火力和机动的基础。没有防护或减弱防护，坦克的威力就必然大大降低。坦克上用于防护的重量，通常占其总重量的  $1/2$  左右。这个重量对坦克的机动性能又产生了较大影响。反坦克武器威力的增加，迫使新一代的坦克不断增加装甲的厚度。而坦克机动性和火力的提高，也必然导致坦克战斗全重的增加。为了使坦克维持一个合适的重量，世界各主要坦克生产国都根据本国的战术思想，对三者进行平衡。这就产生了坦克火力、机动、防护的排序问题。

“厚装甲不如速度重要”，这是纳粹德国的观点。这个观点在第二次世界大战后被原联邦德国继承了下来。法国的观点与德国相同。所以这两个国家在 20 世纪 50 年代对坦克三大性能的排列顺序是“火力—机动—防护”。据此观点，德国研制出了战斗全重 40t，最大速度达 65km/h，炮塔正面装甲厚约 52mm 的“豹”1 坦克；法国研制出了战斗全重 36t，最大速度 65km/h，炮塔正面装甲厚 80.8mm 的 AMX30 坦克。这两种坦克是重视机动性的代表。

英国和以色列一直是重视坦克防护的国家。他们认为，防护是士气的源泉。根据这种思想，他们对坦克三大性能的排序是“火力—防护—机动”。因而他们研制出了防护较强的坦克。如英国的“奇伏坦”坦克，战斗全重 55t，最大速度 48km/h，车体首上装甲厚 150mm。以色列研制出了重 61t，最大速度为 55km/h 的坦克。

对坦克三大性能排序的不同观点一直持续到第三代主战坦克的出现。中东战争大规模坦克战的经验教训，促使世界各国的坦克专家们对防护的重要性有了新的认识。加之复合装甲的出现，使坦克具有了对付大口径反坦克武器的手段，因而世界各国纷纷研制出了防护力较强的第三代主战坦克。如美国的 M1、英国的“挑战者”、德国的“豹”2、法国的“勒克莱尔”、俄



罗斯的 T-80 等主战坦克。

## 二、坦克防护系统的要求

坦克装甲车辆防护系统担负着保护坦克装甲车辆乘员及车内装置免遭或降低敌方武器损伤的功能。这种特殊的使命就对防护系统提出了特殊的，有时甚至是苛刻的要求。归结起来，主要有以下四点要求：

(1) 防护性能高 对防护系统性能总的要求是尽可能地提高坦克的战场生存能力，减少被毁伤的概率。这种要求可分解为：伪装与隐身防护性能要求；综合防御系统性能要求；装甲防护性能要求；“二次”效应防护性能要求；三防装置性能要求。

对伪装与隐身性能的要求体现在被发现概率上；对干扰装置和导弹拦截装置的性能要求体现在被命中概率上；对装甲防护的性能要求体现在被击穿概率上；对二次效应防护及三防装置的性能要求体现在被击毁概率上。坦克防护能力  $p_s$  用下式表示：

$$p_s = 1 - p_f p_z p_c p_h$$

式中  $p_s$ ——坦克生存概率；

$p_f$ ——被发现概率；

$p_z$ ——被击中概率；

$p_c$ ——被击穿概率；

$p_h$ ——被击毁概率。

由上式可看出，欲使坦克防护能力高，就需尽可能降低坦克的被发现概率、被命中概率、被击穿概率、被击毁概率。只有如此，才会出现高防护性能的坦克。

(2) 重量轻 坦克装甲车辆的战斗全重，受国情、战术思想、作战使命、技术发展水平的制约，其总重量有一定的限制。防护系统的重量也就因此受到了严格控制。

防护系统的重量，主要是装甲防护的重量。一般来说，现代主战坦克的战斗全重 40~60t，用于装甲防护（即车体和炮塔）的重量占战斗全重的 50% 左右，即 20~30t。

第二次世界大战及其以前，坦克的防护几乎可以抗击战场上所有武器的攻击。以后随着反坦克武器威力的不断发展，虽然坦克装甲的厚度不断增加，用于防护的重量不断加大，但仍有一些反坦克武器可以穿透坦克的装甲。据有关资料分析认为，现代坦克若想具有充分的防护，其重量需达到 100t。这么重的坦克是无法用于作战的。在每个型号的坦克设计之初，设计人员根据总体性能的要求，统筹分配了坦克各系统的重量，包括防护系统的重量。因此，坦克防护系统所包括的各种技术装置必须在达到防护性能要求的前提下，尽可能地降低装置的重。

(3) 防护装置体积小 防护系统的各种装置，有一些要放在车外，如烟幕抛射装置、红外干扰装置等；有一些要放在车内，如灭火装置、三防装置等；还有的组成了车辆的外壳，如均质装甲、复合装甲等。在车内的装置，要占据一定的容积，而在车外的装置，则可能会直接地影响车辆的宽度和高度。

车辆的容积与车重有着密切的关系。容积大则车体重，或者装甲防护能力弱，容积小则与之相反。表 1-1 列出了几种坦克的车重、装甲厚度与容积的参数。

表 1-1 几种坦克的重量、装甲厚度与容积的参数

型号	战斗全重/t	装甲最大厚度与法线角/mm/(°)	车内容积/m <sup>3</sup>
M60A1	48.1	110/15	18.41
M1	54.5	复合/82	17.56
T-62	37	100/60	12.5
T-72	41	125 复合/68 <sup>①</sup>	12.85

① 实际厚度 204mm，折合等重钢厚度约 125mm。



从表 1-1 可算出,平均每立方米容积占有重量约 3t。可见,减小车内部件占据的空间,包括减少防护装置所占据的空间,对于减轻车重是十分显著的。

另一方面,坦克在设计之初,也确定了坦克总的长度、宽度和高度,从而也就限定了各种技术装置的最大尺寸。因此,在防护装置的设计上,要根据坦克总体的要求,尽力减小装置的尺寸,缩小体积。

(4) 可靠性高和维修性好 坦克装甲车辆的防护装置通常要在各种恶劣的条件下使用,包括高温、严寒、湿热、干燥、日晒、雨淋、强烈冲击振动、电磁、声响等环境,因而对其可靠性、维修性有较高的要求。

## 第二节 坦克装甲防护

### 一、战场威胁

长期以来,推动坦克车辆装甲技术不断发展的传统威胁是由敌方坦克炮发射的高速动能弹、安装在反坦克导弹上的聚能装药弹头,以及由步兵操作的无后坐力步枪和火箭推进榴弹发射器发射的弹药等。然而,近年来发生的大量需要由武装部队执行的军事行动任务绝大多数都是反游击战和强制性维和军事行动。大量的作战经验证明,由各种类型的步枪和机枪发射的穿甲弹、无处不在的简易爆炸装置、路边炸弹等,已经成为用于在这些环境中执行任务的轻型战车的主要威胁。鉴于这一原因,当前装甲技术的发展目标是如何来提高各种坦克和装甲输送车的防护能力,并且正在将关键点集中在轻型车辆的防护方案和改进装甲输送车的车体装甲结构上。

一般来说,金属装甲板是最适合于步兵战车安装的基本装甲,而对于主战坦克来说,则通常采用轧制均质装甲(RHA)。当然,某些轻型车辆也采用其他类型的装甲,比如 M113 装甲输送车采用的是铝装甲。多孔钢装甲是装甲材料家族中的另类,它采用的金属板带有呈矩阵式垂直排列的钻孔,钻孔的直径小于预期威胁弹丸直径的 1/2。这种钻孔不但可以减轻装甲的重量,而且还能将动能弹有可能造成的威胁减少至最小。

随着现代战场新需求的不断增加,装甲技术的发展正在以前所未有的速度如火如荼地展开,世界顶尖科研工作者们在继续深入研究探讨已有老技术的同时,各种各样的新招数更是层出不穷。以下系统全面地追踪装甲防护发展过程中的技术精髓,以及近年来不断涌现出来的各种新兴装甲技术,读者可以从中领略到研究者们非同寻常的拓展性思维方式。

### 二、改进型钢装甲

事实上,从装甲车辆问世至今,人们对于更好结构钢装甲的研究一直没有停止过。这是因为,在给定重量的情况下,改进型钢装甲可以提供更好的防护能力;换句话说,车辆装的是更轻的钢板装甲,但它们仍能保持原有的防护级别。

近年来,德国 IBD 戴森罗特工程设计公司一直在与多家钢板供应商合作研制一种新的高硬度氮钢。对现有的 Armox500Z 高硬度装甲钢的试验表明,利用这种材料制造的钢板的厚度只要达到利用老式材料制造的钢板厚度的大约 70%,就可以获得抵御各种 7.62×54R 口径轻武器攻击的能力。

2009 年,英国国防科学与技术实验室(DSTL)宣布,他们已经与 Corus 公司合作研制出一种被称作“超级贝茵体”(Super Bainite)的先进装甲钢。制造这种装甲钢采用的是等温线淬火处理技术,而且在加工处理过程中不需要采用其他一些用以避免裂化的,昂贵的常规技



术。炼制这种新材料时需要将钢材先加热到  $1000^{\circ}\text{C}$ ，然后再冷却到  $250^{\circ}\text{C}$ ，并且在最终冷却到正常室温之前，必须一直保持这个温度长达 8h。

如果威胁方的部队不具有反装甲武器的话，即使是商用级别的钢板也可以起到一定的防护作用。例如，墨西哥贩毒团伙采用的就是装配有只能抵御轻武器攻击的重型装甲卡车。从当前世界范围内的发展趋势看，在适用于低强度冲突的这一类重型装甲卡车上通常会装配若干挺机枪，或者轻型机关炮。在未来的平叛和维和军事行动中，武装部队不可避免地会与诸如此类的装甲装备发生对峙。

### 三、复合装甲

复合装甲已经不是一个新名词了，它是由几层不同的材料，比如金属、塑胶、陶瓷或者气隙等结合而成的装甲。大量的使用证明，这一类装甲的防护性能明显优于单纯的钢装甲。其中，陶瓷属于易碎材料，只能用于提供有限的防护能力；但是，当将陶瓷与其他材料结合叠加制造成一种复合结构的装甲时，则可以作为适合于各种军用车辆安装使用的高防护性装甲，甚至还可以用这种复合材料为士兵制造防护铠甲。

广泛使用的第一种复合装甲是一种夹层结构，在其内层钢板与外层钢板之间填充了加强玻璃纤维塑胶填料。于 20 世纪 60 年代中后期服役的前苏联 T-64 坦克曾经大量采用过这种装甲。

第二种著名的复合装甲是英国研制的“乔巴姆”装甲，最初采用这种装甲的是英国的 FV 4211 实验型坦克。迄今为止，“乔巴姆”装甲的技术细节仍然属于机密技术，但有报告称，它是一种由陶瓷片组成，封闭在金属模板内，并粘结在背衬钢板和几层弹性材料上的装甲。据悉，“挑战者”1 和“挑战者”2 以及 M1“艾布拉姆斯”等主战坦克采用的就是这种复合装甲。

如果攻击者不具备非常尖端的反装甲武器的话，军用车辆的装甲并不一定需要采用这种级别的先进技术。

### 四、附加装甲

为车辆装备更厚、更重的钢装甲或铝装甲固然可以提高车辆的防护能力。不过，在车辆主装甲的基础上有选择地再安装一些不同形式的附加装甲的办法似乎更加可取。目前看来，许多国家军队更乐于采用这种形式来提高车辆防护能力。截至目前，可以采用的附加装甲主要包括模块化附加装甲、先进的模块化防护装甲、附加陶瓷防护系统、爆炸反应装甲、非爆炸反应装甲等几种。

#### 1. 模块化附加装甲

在附加装甲研究与应用领域内，一个众所周知的实例是由德国 IBD 戴森罗特工程设计公司研制，并由 Chempro 公司生产的模块化可扩展式装甲系统 (Mexas)，它是一种基于复合材料的被动式附加装甲。迄今为止，Chempro 已经制造生产出了许多种适合于履带式 and 轮式装甲战车，以及轮式卡车安装使用的这种类型的附加装甲组件。已经采用了这种附加装甲的有“豹”2 坦克、M113 履带式装甲运输车，以及其他一些轮式装甲车，比如“雷诺”6×6 VAB 和德国的“狐”式装甲车等。

#### 2. 先进的模块化防护装甲

继模块化附加装甲之后，IBD 戴森罗特工程设计公司又研制推出了另一种性能更佳的附加装甲——先进的模块化防护装甲 (Amap)，它是一种基于先进的钢合金、铝-钛合金、纳米钢、陶瓷和纳米陶瓷等材料的被动式附加装甲。

#### 3. 附加陶瓷防护系统

据悉，英国国防科学与技术实验室的科学家们已经研制出一种可以安装到车辆上的附加陶





瓷防护系统，它是一种带有小套筒式六角形陶瓷段，并在几何学上排列成矩阵方式的附加装甲系统。利用模制树脂可以将各个单独的陶瓷段黏合在一起，并封装在一种具有高弹道性能的复合材料中。

此外，英国 NP 航空与航天公司还以商业应用的目的研制出一种名为“米马夏”（Camac、北美产的百合科植物）EFP 的被动式附加装甲；据悉，英国部署在阿富汗的装甲车辆上已经应用了这种附加装甲。

#### 4. 爆炸反应装甲

可以为车辆提供保护的另—类有名的附加装甲是爆炸反应装甲（ERA），但这一类附加装甲板爆炸时有可能对车辆产生一定的损伤，并对车辆附近的步兵造成很大的危险。而自限式爆炸反应装甲（Slera）则正如其名称所暗示的那样，它可以限定爆炸影响的传播，但其防护性能与一般的爆炸反应装甲相比略有降低。这种爆炸反应装甲采用的材料虽然也可以被归纳为被动式材料类，但它并不是全部都可以有效爆炸的。尽管如此，自限式爆炸反应装甲仍然可以为车辆提供保护，以抵御多种武器的打击。

在爆炸反应装甲的未来发展与应用中，嵌入式传感器将会发挥很大的作用；在此基础上再引入由微处理器控制的击发机构，就可以精确地确定触发反应装甲爆炸最适宜的瞬间，从而极大地增强此类装甲的防护效果，并减少其附带损伤。

#### 5. 非爆炸反应装甲

非爆炸反应装甲是一个全新的概念，它代表了被动式附加装甲的进一步发展。这种反应装甲可以提供类似于自限式爆炸反应装甲那样的防护级别，但它的防护范围更宽，可以抵御各种武器的攻击。但当它遭受到聚能装药弹头的攻击时，其防护性能会有所降低。

### 五、电装甲

在作战车辆的装甲技术发展领域中，基于导电技术的主动式防护装甲是最近几年才发展起来的一种新技术。目前已具有一定研究基础的有三类：间隔式电磁装甲、导电装甲和智能装甲。

#### 1. 间隔式电磁装甲

间隔式电磁装甲（SEA）是一类基于导电技术的主动式防护装甲，其基本构成方式是将 2 块金属板反向连接在一个高压电源电容存储器系统的两端。如果探测到一个聚能装药弹头正在袭来，两块金属板就会通电，在它们之间产生的强大的电磁场会将两者之间的间隙加大。当来袭弹头撞击到这种装甲板上时，其爆炸产生的等离子渗入将被其电磁场致偏或扭曲，从而降低它的攻击效力。

#### 2. 导电装甲

2011 年 5 月，美国海军曾获得一项与装甲系统有关的专利。这种装甲系统的特征是在它的两块可以导电的刚性金属板之间装有一种由敏感性变形材料组成的，具有弹性的夹层。为了能够形成一种开放式的电路，其两块刚性导电金属板被连接在电源装置的反向输出端上。当这种装甲被炮弹击中时，两块金属板之间的电路就会或者是与入侵的弹体接触，或者是与由入侵射弹的摩擦力在弹性层中产生的导电的等离子外壳接触。在该专利中指出，这种具有弹性的夹层将会导致“入侵射弹的侵入速度减慢，侵入方向发生改变，攻击效力降低”。由于其电路的接通，至少会有一部分射弹被阻挡在第一层与第二层装甲板之间；而且在对抗期间，这些作用效果是逐渐递增的；与此同时，刚性导电金属板的充电将会致使入侵射弹的性能进一步降低。

#### 3. 智能装甲

智能装甲是目前正在研究中的一种新概念装甲。在这种装甲的每一块装甲板内都嵌入了能够实时监视其状况的传感器，它可以及时指出该装甲板的状况是否令人满意、是否正在遭受敌