

# 坦克

## 装甲车辆设计

坦克装甲车辆可靠性、维修性及保障性卷

冯益柏 主编



化学工业出版社

# 坦克

## 装甲车辆设计

坦克装甲车辆可靠性、维修性及保障性卷

冯益柏 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性是坦克装甲车辆充分发挥作战使用效能,保持持续战法能力的重要质量特性。

本书较详细地介绍了坦克装甲车辆可靠性设计基础理论与设计技术,维修性设计的基础理论与设计技术,保障性设计的基础理论与设计技术等。通过实际案例,说明这些理论在实践中如何应用。本书对于从事坦克装甲车辆研究、设计、制造、管理的技术人员有很好的参考价值。

坦克装甲车辆设计  
可靠性设计 维修性设计 保障性设计

#### 图书在版编目(CIP)数据

坦克装甲车辆设计:坦克装甲车辆可靠性、维修性及保障性卷/冯益柏主编. —北京:化学工业出版社, 2015.5

ISBN 978-7-122-23371-4

I. ①坦… II. ①冯… III. ①坦克-设计②战车-设计 IV. ①TJ811

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 055600 号

责任编辑:仇志刚  
责任校对:宋 玮

装帧设计:刘丽华

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960千字 2015年7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	闫清东
吕小岩	刘 川	刘 勇	苏 波	杜 宏	李 萍
李 毅	李春明	李福田	杨玉淳	张 林	张文超
张玉龙	张立群	张存莉	张树勇	张振文	陈 科
卓 峰	郑 威	周广明	周黎明	孟 红	项昌乐
赵银虎	宫 平	徐劲松	凌 云	唐 进	黄 健
曹 宁	曹 辉	曹福辉	窦铁炎	魏晋忠	

# 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，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的步伐。

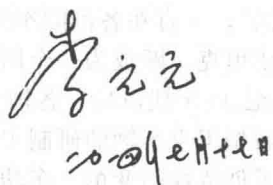
随着高新技术在军事工业上的成熟应用，极大地推动了现代坦克的整体发展进程，也促进了新时代军事变革下坦克技术的日臻完善和升华。随着一大批新技术、新原理、新工艺快速发展和广泛应用，催生了许多新技术理论的创造发明和持续演化，带动了与坦克装甲车辆领域交叉融合的多学科技术进步，也更加强化了坦克装甲车辆在立体攻防联合作战中的生存能力。

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。《坦克装甲车辆技术》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。本书提出的设计理念、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，更加坚定了我军坦克专业技术领域会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。



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，坦克已发展到第三代，第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应用在坦克中应用，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与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上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、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 坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性概论

第一节 简介	1	的约束条件	13
一、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性的地位与需求	1	四、装甲车辆可靠性设计	15
二、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性参数体系	3	五、中国装甲车辆可靠性与维修性的特点	17
三、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性工作发展	3	第三节 坦克装甲车辆保障性	18
四、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性工作展望	6	一、坦克装甲车辆保障性基本概念	18
第二节 坦克装甲车辆可靠性与维修性	6	二、坦克装甲车辆综合保障工程	21
一、坦克装甲车辆可靠性与维修性的基本概念	6	第四节 坦克装甲车辆 RMST 综合管理技术	25
二、复杂可修系统的可靠性数据统计	10	一、简介	25
三、坦克装甲车辆可靠性与维修性指标确定		二、坦克装甲车辆 RMST 综合管理技术概念	25
		三、管理模式内容	26
		四、装甲车辆 RMST 综合管理活动	29

## 第二章 坦克装甲车辆可靠性理论基础

第一节 理论基础	30	第五节 单元可靠性评定	100
一、可靠性的基本概念	30	一、二项分布单元可靠性评定	101
二、可靠性指标体系	39	二、指数分布单元可靠性评定	101
第二节 失效概率分布	40	三、威布尔估计单元可靠性评定	113
一、离散型失效概率分布	40	四、正态分布单元可靠性评定	120
二、连续模型失效概率分布	45	第六节 系统可靠性评定	124
三、选择失效分布类型的说明	57	一、不同成败型单元串联系统	125
第三节 可靠性分配、预计与设计	58	二、相同成败型单元串联系统	126
一、可靠性分配	58	三、不同指数寿命型串联系统	127
二、可靠性预计	64	四、相同指数寿命型单元串联系统	129
三、可靠性设计方法	67	五、不同正态型单元串联系统	130
第四节 可靠性试验与鉴定	77	六、相同正态型单元串联系统	131
一、可靠性寿命试验	77	七、相同成败型单元并联系统	131
二、可靠性抽样检验	83	八、相同指数寿命型单元并联系统	132
三、可靠性筛选试验	88	九、相同成败型单元的 $k/n(G)$ 系统	132
四、加速寿命试验	92		
五、可靠性增长试验	97		



十、相同指数寿命型单元的 $k/m(G)$ 系统 .....	133
十一、不同单元组成的系统与相同单元组成的系	

统的对比 .....	134
十二、不同类型可靠性数据计算与转换 .....	135
十三、一般复杂串联系统 .....	136

### 第三章 坦克装甲车辆可靠性设计

第一节 设计基础 .....	138
一、基本概念 .....	138
二、可靠度函数及累积故障分布函数 .....	138
三、可靠性参数 .....	144
四、装甲车辆可靠性设计 .....	146
第二节 坦克武器系统的可靠性设计 .....	149
一、车载反坦克导弹可靠性综合设计方法 .....	149
二、车载反坦克导弹俯仰控制系统可靠性优化设计 .....	154
第三节 坦克动力系统可靠性设计 .....	156
一、简介 .....	156
二、可靠性指标 .....	157
三、可靠性设计 .....	160

四、可靠性试验 .....	164
第四节 坦克传动系统可靠性设计 .....	170
一、坦克装甲车辆液压系统的可靠性设计 .....	170
二、坦克齿轮接触疲劳强度可靠性设计 .....	173
第五节 坦克行动系统可靠性设计 .....	176
一、简介 .....	176
二、坦克装甲车辆减振器的可靠性设计 .....	177
第六节 坦克装甲车辆, 使用期间的可靠性设计 .....	182
一、简介 .....	182
二、某型坦克部署初始期的故障统计与分析 .....	182
三、某型坦克部署初始期的可靠性计算 .....	183

### 第四章 坦克装甲车辆维修性理论设计

第一节 理论基础 .....	187
一、维修性基本概念 .....	187
二、常用的维修时间统计分布 .....	188
三、维修性的主要参数 .....	191
四、系统维修时间计算模型 .....	193
五、可用性 .....	195
六、维修性预计 .....	198
七、可用性预计 .....	202
第二节 故障树与故障模式分析法 .....	203
一、故障树分析法 .....	203
二、故障模式影响及危害性分析 .....	211
第三节 坦克装甲车辆维修性理论设计 .....	216
一、美国 M1 坦克维修性/诊断性专家系统 .....	216
二、坦克装甲车辆维修策略的设计 .....	218

三、坦克装甲车辆维修性可视化支持系统的设计 .....	219
四、基于多 Agent 的装甲装备维修作业流程建模设计 .....	223
五、装甲车辆维修质量综合评判系统设计 .....	226
六、运用梯形模糊层次法对坦克装甲车辆维修性重要度的排序设计 .....	230
七、装甲装备虚拟维修性分析与验证的设计 .....	233
八、装甲车辆维修性 Elman 神经网络系统设计及效能评估 .....	236
九、装甲装备维修法 AHP 效能评估 .....	238
十、装甲装备维修效益评估 .....	241

### 第五章 坦克装甲车辆维修性设计技术

第一节 设计基础 .....	246
一、修理级别分析 .....	246
二、使用与维修工作分析 .....	253
第二节 以可靠性为中心的维修分析 .....	257
一、以可靠性为中心的维修分析的基本理论与概念 .....	257
二、以可靠性为中心的维修分析方法 .....	262

三、以可靠性为中心的维修分析应用示例 .....	275
第三节 坦克武器系统维修性设计 .....	281
一、新型主战坦克武器系统维修性增长分析 .....	281
二、坦克炮维修间隔期的计算方法 .....	284
三、坦克炮击发机构与维修对策 .....	287

第四节 坦克动力推进系统的维修性设计 .....	289
一、坦克发动机虚拟维修关键技术 .....	289
二、坦克风扇联动机构的维修 .....	291
三、坦克装甲车辆发动机通用维修工具 .....	292
第五节 坦克装甲车辆综合电子信息系统 .....	

的维修性设计 .....	295
一、装甲车辆电气设备虚拟维修训练系统 .....	295
二、装甲车车载电台虚拟维修性建模设计 .....	299
三、坦克装甲车辆指控通信系统维修性 PHM 设计 .....	302

## 第六章 坦克装甲车辆保障性理论基础

第一节 理论基础 .....	308
一、简介 .....	308
二、保障性分析 .....	310
三、保障性工程 .....	318
第二节 装甲装备保障性理论设计 .....	325
一、基于需求链装甲装备保障性设计 .....	325
二、装甲装备保障性数据库的设计 .....	327
三、装甲装备保障性综合数据安全性设计 .....	331

四、装甲装备自主式保障性设计 .....	334
五、装甲装备主动式保障系统建模设计 .....	338
六、装甲装备器材保障性设计 .....	344
第三节 装甲装备保障性评估、试验与评价 .....	346
一、保障性评估 .....	346
二、保障验证试验 .....	348
三、保障性评价 .....	350

## 第七章 坦克装甲车辆保障性设计

第一节 设计基础 .....	357
一、坦克装甲车辆综合保障工程的内涵、目的与任务 .....	357
二、综合保障工程的研究对象与内容 .....	357
三、装甲装备保障装备发展研究 .....	358
四、坦克装备保障体系建议 .....	360
第二节 装甲装备保障性设计 .....	361
一、装备系统的保障性要求 .....	361
二、保障性指标要求分配 .....	366

三、保障性特性设计 .....	373
第三节 使用与作战过程中装甲装备的保障性设计 .....	391
一、面临的任务与对策 .....	391
二、战时装甲装备保障性设计 .....	396
三、装甲车辆战时保障资源设计与配置 .....	399
四、联合作战中数字化装甲团装备保障能力评估 .....	402
参考文献 .....	408



## 第一章

# 坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性概论

## 第一节 简介

### 一、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性的地位与需求

#### 1. 地位

坦克装甲车辆是集强大的火力、机动性、防护、通信指挥等诸多功能于一体的地面战斗突击兵器。可靠性、维修性与保障性是坦克装甲车辆充分发挥作战使用效能,保持持续战斗能力的重要质量特性,是以可承受的寿命周期费用,获得高质量的坦克装甲车辆产品,并建立与之相匹配的保障系统的保证。

(1) 可靠性、维修性与保障性是装备性能的重要组成部分。现代战争中精密制导武器和武装直升机的使用,使坦克装甲车辆的战损率空前加大;技术密集度高和结构复杂,使坦克装甲车辆维修难度明显增加;全方位立体化作战方式,使装甲兵后方补给和技术保障困难。上述现代高技术战争的这些特点,迫切要求迅速提高坦克装甲车辆的可靠性、维修性与保障性。可靠性、维修性与保障性是构成武器装备作战效能和影响其寿命周期费用的重要因素,是重要的安全技术指标。

(2) 可靠性、维修性与保障性是坦克装甲车辆的设计特性。传统质量观念局限于产品的检验与缺陷的纠正,现代质量观念则更侧重于质量的全面保证和缺陷的预防。可靠性、维修性与保障性是产品的先天属性,是设计和生产出来的。只有把可靠性、维修性与保障性注入到装备系统设计中,坦克装甲车辆的可靠性、维修性与保障性要求才有可能在生产中得到保证,在使用中得到体现。研制与实践经验表明,装备研制出来以后再考虑可靠性、维修性与保障性必将花费更多的时间和更大的代价,甚至有些问题根本无法解决。因此,可靠性、维修性与保障

性，必须在装备研制中予以保证。

(3) 可靠性、维修性与保障性工作贯穿于坦克装甲车辆的全寿命过程。可靠性、维修性与保障性工作是系统工程管理的重要组成部分。坦克装甲车辆可靠性与维修性工作必须统一纳入型号研制、生产、试验、使用计划，并与其他相关工作密切协调地进行。应当对装备的作战性能、可靠性、维修性与保障性等质量特性进行系统综合和同步设计，从装备论证开始，就应进行质量、进度、费用与保障性之间的综合权衡，以取得武器装备的最佳效能和寿命周期费用。

## 2. 需求

(1) 作战任务需求 坦克装甲车辆种类繁多，作战使命各异。不同车辆或同一种车辆的不同作战任务使命，各有不同的作战任务需求。对于担负主要作战任务的坦克装甲车辆，确定其可靠性、维修性与保障性要求的主要依据是：要能满足执行典型作战任务的任务距离与可靠度要求，即通过维修等各种保障措施，能在完成作战任务后，仍能保持有持续作战能力的装备数量，不得小于某一指标（通常用百分数表示）。通常以坦克师从接受战斗命令进行战役机动开始，到达集结地域并发起冲击，直至完成当日进攻作战任务作为典型的任务剖面，并保持有完成后续作战任务能力为目标，权衡提出坦克装甲车辆的可靠性、维修性与保障性指标要求。

根据现代作战经验，在执行作战任务前的战役机动距离为 100~500km，当日进攻作战任务直线距离约为 100km，考虑作战进程中的迂回、穿插行驶距离可达 200km。据此提出任务可靠性要求。

一般来讲，战役机动期间坦克装甲车辆的损伤率约达 20%，在损伤坦克与装甲车辆中，受致命损伤不能修复的约达 30%，经修复后可赶上部队参加下次作战任务的约达 70%；执行进攻作战任务期间，坦克装甲车辆的战场生存率与战场损伤率均约为 50%，在损伤的坦克中，约 60%可经修复，重新投入战斗。据此，为保证达到不少于一定数量坦克装甲车辆的任务成功性目标，在坦克装甲车辆进攻作战规定的时限内，可提出对战伤坦克装甲车辆的修复性维修要求。

现代作战条件下，若参战坦克装甲车辆的战场损伤率达到参战车辆的 50%，且在任务期间不能得到修复，将失去完成下次进攻作战能力。据此根据完成作战任务的战备完好率要求，可权衡提出任务可靠性和维修性指标要求，并以此提出在规定的任务区间内的保障性要求（如人员数量与技术等级、备件、保障设备需求等）。图 1-1 表示在现代作战条件下，坦克装甲车辆（主要指主战坦克）在战役机动和进攻作战中的数量变化情况。

由图 1-1 可以看出，若坦克初始投入数量为 100，战役机动与进行作战任务距离分别为 300km 和 200km（共计 500km）。则作战任务需求的可靠性、维修性之间的关系如下：

$$P_m = R_m + (1 - R_m)M_m$$

式中  $P_m$ ——战备完好率；

$R_m$ ——任务可靠度；

$M_m$ ——任务维修率。

若要求的战备完好率  $P_m = 0.78$ ，任务维修率为：

$$M_m = (14 + 24) / (40 + 20) = 0.633$$

据此可求出主战坦克完成战役机动和进攻作战中的任务可靠度，如下式所示：

$$R_m = (P_m - M_m) / (1 - M_m)$$

$$= (0.78 - 0.633) / (1 - 0.633) = 0.40$$

如按作战任务需求提出战备完好率和任务可靠性要求，则可求得任务维修率，由此可进一步测算现有的维修人力和保障资源要求。

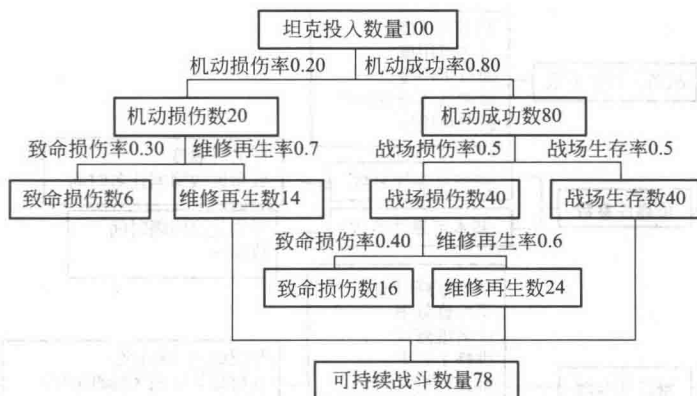


图 1-1 主战坦克在战役机动和进攻作战中数量变化情况

(2) 战备训练需求 坦克装甲车辆除应满足作战任务需求外,还应保障平时的战备训练需求。装甲兵部队通常将不多于 30% 的坦克装甲车辆作为教练车用于平时的战备训练,按使用部队的战备性质,规定其单车平均使用小时限额,并按计划使用、均衡修理的原则,集中将总使用小时限额用于平时战备训练。坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性要求的量值,要体现出能满足平时战备训练方面的要求,保证装备在规定的条件下随时可用或根据前期的使用数据,测算出当前装备应满足的可使用状态。

(3) 装备完好率需求 坦克装甲车辆的装备完好率是指处于能工作状态的坦克装甲车辆数(包括战备封存或处于停放未工作的完好车辆)与在编总数之比。战备完好率能直观的以装备数量比值表征列编装备的战备完好水平,适用于使用部队的装备管理。为保持平时武器装备的战备完好状态,通常要求有不少于 70% 的坦克装甲车辆处于战备封存状态。

## 二、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性参数体系

坦克装甲车辆的作战使用需求,必须能转化成一组可设计、可跟踪和可验证的参数,才能付诸于工程设计,才能体现在坦克装甲车辆产品与保障系统之中。近年来,一组能全面反映坦克装甲车辆特点的战备完好性、任务成功性、维修人力和保障资源的可靠性、维修性与保障性参数体系已初步形成,并在新一代坦克装甲车辆研制中,作为与传统的性能同等重要的质量特性提出,对提高坦克装甲车辆产品质量和建立相应的保障系统正在发挥重要作用。图 1-2 为现代坦克装甲车辆可靠性、维修性、保障性参数体系。

## 三、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性工作发展

### 1. 国外可靠性、维修性与保障性工作的发展

国外对可靠性、维修性与保障性等质量特性的认识始于 20 世纪 50 年代。当时美军运往远东的武器装备合格率低(仅达 50%),故障率高,备件需求量大,维修工作频繁,有 1/3 的人员和 1/3 的军费用于维修,保障问题变得十分突出,引起美国军方的重视。1955 年制定了第一个从设计、试验、生产到交付使用的全面的可靠性发展计划,1957 年发表的《军用电子设备可靠性》研究报告,阐述了可靠性设计、试验与管理的程序和方法,确定了可靠性工程的发展方向,是标志可靠性工程发展的重要里程碑。这一时期美军对 M48 系列坦克进行以提高部件可靠性和标准化程度,便于维修和降低备件消耗方面的改造。通过试验确定了坦克可靠性、维修性与保障性参数,如 M48A3 坦克的可靠性、维修性与保障性指标包括可靠性数据、维修

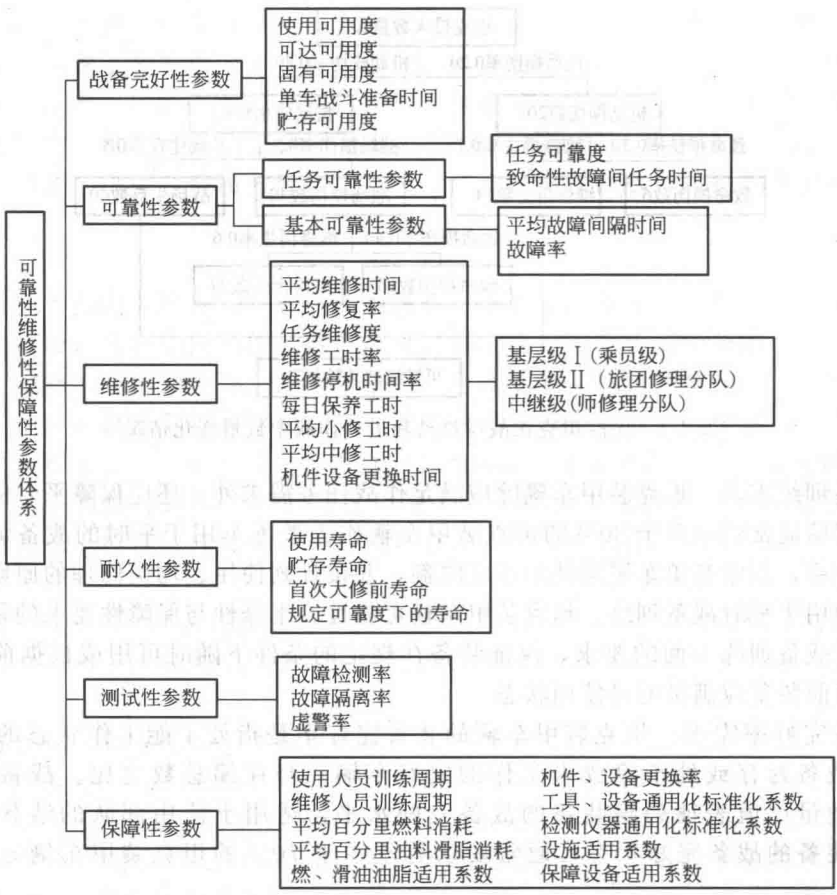


图 1-2 现代坦克装甲车辆可靠性、维修性、保障性参数体系

性数据和保障性数据达 20 多项。

进入 20 世纪 60 年代，美军发布了《系统与设备研制与生产可靠性大纲》、《维修性大纲要求》等一系列可靠性与维修性标准，并在美军第二次世界大战后第二代武器装备研制中得到不同程度的贯彻应用。在此期间研制的美国 M60 和德国“豹”2 坦克，实现了动力传动装置管路的快速分离与结合和动力传动装置的整体吊装更换，其可靠性、维修性与保障性水平有明显提高。60 年代中后期，美国又先后发布了国防部指令《系统和设备的综合后勤保障研制》和《国防部系统和设备的综合后勤指南》，说明国外质量与可靠性工作已开始注意对武器装备与保障系统的综合保障研究。

20 世纪 70 年代以后，国外的质量与可靠性工作向两个方面发展：一是加强测试性与诊断技术的研究；二是把武器装备质量与可靠性工作的重点放在推行综合保障工作研究与工程实践方面。1973 年美军发布国防部指令《系统后勤保障大纲的采办与管理》和军用标准《后勤保障分析》与《国防部对后勤保障分析记录的要求》，使美军的武器装备采办政策进入了追求装备使用性能设计与装备的保障系统设计同步进行，以最低的寿命周期费用获得最佳的装备系统效能的时期。这一时期的坦克与装甲车辆的研究特点是，从研制开始就提出装备的可靠性、维修性、可用性和耐久性目标，并实现装备与保障系统的同步研制。虽然研制出的坦克装甲车辆高新技术密集，但是装备的可靠性、维修性与保障性水平有明显提高。表 1-1 是美军不同时期研制使用的主战坦克的可靠性、维修性与保障性的部分可比数据。



表 1-1 美军坦克的可靠性、维修性、保障性数据比较

参 数	车 型	
	M60A1	XM-1
固有可用度/%	89	96.5
平均故障间隔里程/mile	—	391
平均修复时间/h	2.0	1.4
乘员每日检查保养时间/h	0.9	0.8
乘员每日检查保养时间/工时	3.4	3.0
1500mile 局部计划保养时间/h	31	22
1500mile 局部计划保养时间/工时	48	33
动力装置更换时间/工时	8	4.1
传动装置更换时间/工时	20	16.3
第一负重轮更换时间/工时	1.5	1.1
扭杆更换时间/工时	9.0	4.5
火炮前后密封时间/工时	24.48	8.4

注: 1mile=1.609km。

## 2. 中国坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性工作的发展

中国坦克装甲车辆的发展经历了修理、仿制和自行研制三个阶段。

20 世纪 60 年代初中国引进前苏联坦克技术、生产线和使用维修制度, 生产出中国第一代 59 式中型坦克, 在交付部队使用的同时, 建立了与装备相适应的使用与维修制度。在较长时期的使用中, 装备质量稳定, 积累了丰富的装备保障与管理经验。

20 世纪 60~70 年代, 中国自行研制了一批第一代坦克装甲车辆, 在装备研制中没提出可靠性、维修性与保障性等质量特性的指标要求。从技术创新和复杂程度上看, 与 59 式中型坦克无明显差别, 装备保障方面尚未出现明显不适应的情况, 研制方法基本上是单一的主装备研制。

20 世纪 70 年代末至 80 年代初, 中国开始自行研制一批更新换代型坦克装甲车辆。这批装备在技术性能和结构上都有较大变化, 然而在论证研制期间均没有提出可靠性、维修性和保障性方面的指标要求, 没有实施主装备与保障系统同步研制, 致使有相当一批装备部署使用中出现了可靠性低、维修性差, 缺乏必要的技术资料, 修理与检测设备不配套, 缺少备品、备件保证等情况, 形成战斗力迟缓, 给部队的作战与训练带来较大困难。

国外的可靠性和以可靠性为中心的维修理论及其成功经验, 是在 70 年代末至 80 年代初介绍到中国并逐渐引起重视的。中国坦克装甲车辆质量与可靠性工作的开展, 最先是解决现役装备可靠性增长和减少维修工作量的维修制度改革开始的。从 1983 年 59 式坦克开始, 先后进行了多种车型的维修制度改革试验, 取得大量珍贵的可靠性、维修性和保障性数据。维修制度改革的成功, 缩短了服役坦克装甲车辆的维修停机时间, 降低了器材消耗, 提高了装备的战备完好性, 掌握了现役坦克装甲车辆的可靠性、维修性和保障性基本数据, 为中国下一代装甲装备研制提出可靠性、维修性和保障性要求奠定了基础。

20 世纪 80 年代末, 中国的武器装备质量与可靠性工作得到迅速发展, 颁布了一系列国家军用标准, 如《装备研制与生产的可靠性通用大纲》、《装备维修性通用规范》、《装备保障性分析》等, 出版了较系统的可靠性、维修性、保障性理论专著, 发布了《关于进一步加强武器装备可靠性、维修性工作的通知》、《武器装备可靠性、维修性管理规定》等多项贯彻质量与可靠性工作的法规性文件。新一代坦克装甲车辆研制中都提出了可靠性、维修性、保障性指标要求, 并重视在型号定型试验中的考核。中国坦克装甲车辆的可靠性、维修性、保障性工作正在走上迅速发展的道路。



## 四、坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性工作展望

中国坦克装甲车辆的质量与可靠性工作虽然取得一些成绩,但是由于起步较晚和基础薄弱,与当今世界先进国家相比,尚有较大差距。近年来,美国对武器装备采办政策进行了重大改革,对军用标准进行了重大调整,颁发了“防务采办”、“重大防务采办项目和重大自动化系统必须遵循的程序”、“采办后勤”手册和“后勤管理信息”规范等新的采办文件,强调采办过程的灵活性,强调研制全过程中开展保障性分析活动和充分调动民用工业积极性,向减轻沉重的采办经费负担的方向发展。为迎接 21 世纪的挑战,中国武器装备研制与管理体制也进行了重大调整,正在向有利于实现全系统和全寿命管理的方向发展。中国坦克装甲车辆的质量与可靠性工作,将在以下几个方面得到进一步的加强和发展。

(1) 当代质量观念将得到进一步加强。坦克装甲车辆的可靠性、维修性与保障性作为装备的重要性能,将纳入到装备研制系统工程中加以论证、设计、研制与生产,使坦克装甲车辆产品具有优良的保障特性。

(2) 21 世纪的坦克装甲车辆研制,将从单一的主装备研制方式,转变为主装备与保障系统相互协调的同步研制方式,采办目标将是具有优良保障特性的坦克装甲车辆和与之配套的保障系统。

(3) 随着坦克装甲车辆的日趋复杂和高度现代化,高额研制经费需求与有限国防科研研制费用间的矛盾将更加突出,坦克装甲车辆的研制目标必将从单一的追求作战性能,向追求在可承受的寿命周期费用约束条件下,获得装备综合性能的方向转变。因此,定费用设计方法和费用、进度、作战性能和保障特性的权衡分析方法,将受到重视和采用。

(4) 由于可靠性、维修性与保障性参数指标的描述、设计与考核,较传统的性能要求有较大的不确定因素,坦克装甲车辆的可靠性、维修性与保障性指标,只有在设计定型后进行小批量生产装备部队进行初始部署使用时,才可能完成对新装备的可靠性、维修性与保障性评估,在达到预期的战备完好性目标后,研制工作才称得上结束。这将促使把坦克装甲车辆的研制工作延伸到装备部署阶段形成初始战斗力与保障能力为止,有利于向全系统和全寿命管理的方向发展。

(5) 开展质量与可靠性工作,既需要大量现役装备系统的可靠性、维修性、保障性信息,又会生成新研坦克装甲车辆的可靠性、维修性与保障性信息。这些是用以评估新装备的战备完好性水平、改进设计缺陷和为下一代装备研制提供可靠性、维修性与可靠性数据的宝贵资源。按着装备保障性分析的方法建立坦克装甲车辆可靠性、维修性与保障性信息库和数据处理系统,进行质量与可靠性信息的闭环控制;实现装备的可靠性、维修性与保障性水平的持续增长,将成为坦克装甲车辆质量与可靠性工作的一项重要奋斗目标。

## 第二节 坦克装甲车辆可靠性与维修性



### 一、坦克装甲车辆可靠性与维修性的基本概念

可靠性 (Reliability) 和维修性 (Maintainability) 是装甲车辆的重要战术技术指标,是构成装甲车辆综合效能的重要因素,是由设计赋予、生产保证,并在使用中体现出来的装甲车辆本身的一种固有质量特性。

#### 1. 可靠性

(1) 可靠性的定义 国家军用标准 GJB 451—90 给出的可靠性定义是:产品在规定的条件



下和规定的时间内,完成规定功能的能力。可靠性的概率度量亦称可靠度。1991年美军5000.2(DODI)给出的可靠性定义为:系统及其组成部分在无故障、退化或不要保障系统的情况下执行其功能的能力。它更强调了可靠性与保障的关系。

## (2) 可靠性有关的主要参数

① 可靠度 装备的寿命  $T$  是一个非负随机变量。装备的可靠度表示装备在指定的时间区间  $[0, t]$  内不发生故障的概率,用  $R(t)$  表示:

$$R(t) = P(T > t), t \geq 0$$

② 故障概率分布函数 又称为寿命  $T$  的概率分布函数,即  $[0, t]$  内发生故障的概率,用  $F(t)$  表示:

$$F(t) = P(T \leq t) = 1 - R(t), t \geq 0$$

装备的寿命分布是连续时,称故障概率分布函数的导数为故障概率分布密度函数,或称故障概率密度函数,记为:

$$f(t) = dF(t)/dt \text{ 或 } F(t) = \int_0^t f(t) dt$$

③ 故障率函数 故障率表示产品在规定的条件下,工作到  $t$  时刻后,尚未发生故障的产品在单位时间内发生故障的概率,记为  $\lambda(t)$ 。某时刻  $t$  的故障率称为瞬时故障率。

设  $T$  是规定条件下某产品的寿命,其故障概率分布函数为  $F(t)$ ,故障概率密度函数为  $f(t)$ ,此时事件“产品工作到时刻  $t$  后”可表示为“ $T > t$ ”。事件“产品在  $(t, t + \Delta t)$  内发生故障”可表示为“ $t < T \leq t + \Delta t$ ”。于是产品工作到时刻  $t$  后,在  $(t, t + \Delta t)$  内产品发生故障的概率可以表示为条件概率  $P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)$ ,把这个条件概率除以时间间隔  $\Delta t$  以后,就得到在  $\Delta t$  时间内的平均故障率,当  $\Delta t \rightarrow 0$ ,就得到在时刻  $t$  瞬时故障率:

$$\begin{aligned} \lambda(t) &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{P(t < T \leq t + \Delta t | T > t)}{\Delta t} \\ &= \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{F(t + \Delta t) - F(t)}{\Delta t} \cdot \frac{1}{1 - F(t)} \\ &= \frac{f(t)}{1 - F(t)} = -\frac{R'(t)}{R(t)} \end{aligned}$$

上式两边积分,可得:

$$\ln R(t) = -\int_0^t \lambda(t) dt \quad R(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right]$$

于是

$$\begin{aligned} F(t) &= 1 - R(t) = 1 - \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \\ f(t) &= F'(t) = \lambda(t) \exp\left[-\int_0^t \lambda(t) dt\right] \end{aligned}$$

④ 平均寿命 平均寿命是产品在规定的条件下,持续工作时间的平均值。对于不可修产品(如装甲车辆的一些零部件)指故障前工作时间的平均值,记为MTTF,称为平均故障前时间;对于可修产品(如装甲车辆的大部件、整车)是指相邻故障间隔时间的平均值,记为MTBF,称平均故障间隔时间。

已知产品寿命  $T$  的分布密度函数  $f(t)$  时,平均寿命记为  $E(T)$ ,定义如下:

$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

当已知产品的寿命分布时,平均寿命是一常量;当不知道产品寿命分布时,平均寿命是一样本的统计量。仅当产品寿命分布服从指数分布时,平均寿命才等于故障率的倒数。