

国家出版基金项目

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

国之重器出版工程

陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书

新型坦克设计

李春明 范知友 编著

 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

《陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书》

编写委员会

名誉主编：王哲荣 苏哲子

主 编：项昌乐 李春明 曹贺全 丛 华

执行主编：闫清东 刘 勇

编 委：(按姓氏笔画排序)

马 越 王伟达 王英胜 王钦钊 冯辅周

兰小平 刘 城 刘树林 刘 辉 刘瑞林

孙葆森 李玉兰 李宏才 李和言 李党武

李雪原 李惠彬 宋克岭 张相炎 陈 旺

陈 炜 郑长松 赵晓凡 胡纪滨 胡建军

徐保荣 董明明 韩立金 樊新海 魏 巍



编者序

坦克装甲车辆作为联合作战中基本的要素和重要的力量，是一种最具临场感、最实时、最基本的信息节点和武器装备，其技术的先进性代表了陆军装备现代化程度。

装甲车辆涉及的技术领域宽广，经过几十年的探索实践，我国坦克装甲车辆技术领域的专家积累了丰富的研究和开发经验，实现了我国坦克装甲车辆从引进到仿研仿制再到自主设计的一次又一次跨越。在车辆总体设计、综合电子系统设计、武器控制系统设计、新型防护技术、电子电气系统设计及嵌入式软件设计、数字化与虚拟仿真设计、环境适应性设计、故障预测与健康管理和新型工艺等方面取得了重要进展，有些理论与技术已经处于世界领先水平。随着我国陆战装备系统的理论与技术取得重要进展，亟需通过一套系统全面的图书来呈现这些成果，以适应坦克装甲车辆技术积淀与创新发展的需要，同时多年来我国坦克装甲车辆领域的研究人员一直缺乏一套具有系统性、学术性、先进性的丛书来指导科研实践。为了满足上述需求，《陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书》应运而生。

北京理工大学出版社联合中国北方车辆研究所、内蒙古金属材料研究所、北京理工大学、中国人民解放军陆军装甲兵学院、南京理工大学、中国人民解放军陆军军事交通学院和中国兵器科学研究院等单位一线的科研和工程领域专家及其团队，策划出版了本套反映坦克装甲车辆领域具有领先水平的学术著作。本套丛书结合国际坦克装甲车辆技术发展现状，凝聚了国内坦克装甲车辆技术领域的主要研究力量，立足于装甲车辆总体设计、底盘系统、火力系统、



防护系统、电气系统、电磁兼容、人机工程、质量与可靠性、仿真技术、协同作战辅助决策等方面，围绕装甲车辆“多功能、轻量化、网络化、信息化、全电化、智能化”的发展方向，剖析了装甲车辆的研究热点和技术难点，既体现了作者团队原创性科研成果，又面向未来、布局长远。为确保其科学性、准确性、权威性，丛书由我国装甲车辆领域的多位领军科学家、总设计师负责校审，最后形成了由24分册构成的《陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书》，具体名称如下：《装甲车辆概论》《装甲车辆构造与原理》《装甲车辆行驶原理》《装甲车辆设计》《新型坦克设计》《装甲车辆武器系统设计》《装甲车辆火控系统》《装甲防护技术研究》《装甲车辆机电复合传动系统模式切换控制理论与方法》《装甲车辆液力缓速制动技术》《装甲车辆悬挂系统设计》《坦克装甲车辆电气系统设计》《现代坦克装甲车辆电子综合系统》《装甲车辆嵌入式软件开发方法》《装甲车辆电磁兼容性设计与试验技术》《装甲车辆环境适应性研究》《装甲车辆人机工程》《装甲车辆制造工艺学》《坦克装甲车辆通用质量特性设计与评估技术》《装甲车辆仿真技术》《装甲车辆试验学》《装甲车辆动力传动系统试验技术》《装甲车辆故障诊断技术》《装甲车辆协同作战辅助决策技术》。

《陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书》内容涵盖多项装甲车辆领域关键技术工程应用成果，并入选“国家出版基金”项目、“‘十三五’国家重点出版物出版规划”项目和工信部“国之重器出版工程”项目。相信这套丛书的出版必将承载广大陆战装备技术工作者孜孜探索的累累硕果，帮助读者更加系统、全面地了解我国装甲车辆的发展现状和研究前沿，为推动我国陆战装备系统理论与技术的发展做出更大的贡献。

丛书编委会



序

坦克诞生已过百年，对近代战争特别是第二次世界大战的进程产生了重大影响，极大地促进了世界各军事强国在战后对坦克的研究发展，在各种陆上局部战争中发挥了重大的作用，有“陆战之王”的美称。随着美国主导的信息联合作战样式的出现，坦克在战场中作用的发挥受到很大质疑，“坦克无用论”一度甚嚣尘上。

随着陆上作战的发展，特别是在以对某地控制为目标的陆上作战中，坦克的“突击、占领与控制”作用依然显著，坦克依然是不可或缺的核心装备。当然，现代坦克在陆上作战中的地位和作用发生着重大的变化。随着新军事变革的不断演进，现代坦克不再只是陆战场上冲锋陷阵的利器，它们还要承担更多更重要的任务，如陆战场接敌前沿的侦察节点、指挥节点等。因此，现代坦克在 20 世纪末期开始向信息化快步迈进，99A 式坦克就是我国首款信息化坦克。

随着信息技术的突飞猛进，现代坦克信息化不断演进，使得现代坦克的总体设计产生了重大变化，设计中除了火力、机动力、防护力三者的权衡外，增加了“信息力”设计这一非常重要的工作。信息力设计的首要任务是信息体系架构的设计，通过开放式信息架构的设计，支撑现代坦克融入体系作战的能力。

与此同时，通过信息技术的应用，实现现代坦克火力、机动力、防护力的“倍增”，最大限度地通过信息技术提升现代坦克的性能和作战的效能。在火力打击方面，现代坦克已由传统的单平台猎歼模式——自己观察自己打击的单打独斗的模式向多平台协同猎歼模式转变，除了高速行进间精确打击外，间瞄



—协同打击也是设计的重点。在机动方面，随着全电化技术的发展，需要加强基于混合驱动的一体化能量管理与控制设计，提升战车的全域机动性。在防护方面，已由传统的被动抗打击向层次化综合防护——基于战场生存力设计转变，“避免被遭遇—先敌发现先敌攻击”“主动干扰+主动拦截防护”等新型防护——提升坦克战场生存力成为现代坦克总体设计的重点。

而且，随着基于模型的系统工程方法的应用和发展，已初步形成了现代坦克总体基于模型的系统工程设计模式，对坦克设计技术发展起到了很好的推动作用，对未来坦克的总体设计具有很好的借鉴意义。

因此，充分总结现代坦克基于模型的系统工程和基于信息化的总体设计研究成果，引领现代坦克及相关技术的发展具有重要意义。本书编著者携30余年坦克总体设计成功经验，总结总体设计研究成果编著成本书稿，本书将是一部最新的现代坦克总体设计参考书，对未来坦克的总体设计具有很好的借鉴意义，也将产生深远的影响。



前 言

坦克诞生已过百年，在坦克总体设计方面已有大量文献，对现代坦克的总体设计起到了非常重要的支撑作用。随着现代坦克的信息化技术发展和基于模型系统工程方法应用，现代坦克总体设计增加了很多内涵，编著者总结了多年总体设计研究成果编著成本书，希望对未来坦克设计起到一定作用。

第1章绪论，从坦克的起源和演化入手，探究了坦克的概念内涵，介绍了系统的相关概念和系统工程流程，以便坦克总体设计人员能够将坦克总体设计的逻辑起点迁移到从用户需求开始，使未来坦克能够更加符合未来战争需求，使坦克设计实现真正意义上的正向设计。

第2章主要介绍了项目论证与需求分析。

第3章介绍了现代坦克总体结构参数与总体布局的设计方法，阐述了基于多任务负载无人炮塔和综合化防护的现代坦克总体结构设计方法。

第4章介绍了多平台协同信息能力，说明了基于综合核心处理系统的坦克信息总体架构，以及该架构下的网络 and 软件技术，并分析了现代坦克电子信息系统动态综合技术的基本要素、功能和特点。

第5章共分为五节，5.1节对火力打击需求进行了说明，5.2~5.4节对武器系统设计方法进行了阐述，5.5节对武器系统试验和评估方法进行了介绍。

第6章以现代坦克所面临的战场威胁特点为基础，介绍了现代坦克的“避免遭遇”“避免被发现”“避免被击中”“避免被击穿”“避免被毁伤”生存力模型设计概念。对生存力的总体设计及其所对应的隐身防护、主动防护、装甲防护、二次效应防护、特种防护的设计进行了阐述。



第7章介绍了现代坦克动力传动装置和行走装置的配置与选型，阐述了现代坦克常用的机动性能匹配设计和试验方法。

第8章主要介绍了现代坦克的通用质量特性（包括可靠性、维修性、保障性、测试性、安全性及环境适应性）和电磁兼容性设计、分析与试验验证有关内容。

第9章主要介绍了现代坦克装甲车辆人机环境工程和人机一体化设计技术的新发展，较为系统地总结了坦克乘员舱一体化的设计要点和设计方法，并给出了如何开展仿真与试验验证的方法与案例，初步形成了一套较为全面和系统的坦克乘员舱人机工效以及人-机-环系统评价方法。

第10章重点对自顶向下的坦克三维模型设计、基于多体动力学的坦克性能仿真、基于有限元理论的模态匹配、协同仿真技术应用、坦克装甲车辆总体协同设计系统进行了介绍。

本书在编著过程中，参考了许多前人的研究成果，在此一并致谢。同时，中国北方车辆研究所的总体工程师们起到了非常重要的作用。第1章由范知友研究员等协助编撰审核，第2章由范凤明研究员等协助编撰审核，第3章由刘春林工程师和葛立坤高级工程师等协助编撰审核，第4章由胡建军研究员等协助编撰审核，第5章由钟险峰研究员等协助编撰审核，第6章由陶治国研究员等协助编撰审核，第7章由李睿高级工程师和苏杰工程师等协助编撰审核，第8章由刘树林研究员、王秋芳研究员、李小健研究员、许奎工程师等协助编撰审核，第9章由凌亮研究员等协助编撰审核，第10章由李剑峰研究员、许宏昌研究员、王军研究员等协助编撰审核。

鉴于作者水平有限，难免存在不当之处，敬请谅解。



目 录

第 1 章 绪论	001
1.1 坦克起源与演化	002
1.2 坦克的概念内涵	004
1.3 系统工程简介	006
1.3.1 系统工程简介	006
1.3.2 系统工程的技术流程	007
1.4 现代坦克系统工程设计流程	009
1.4.1 用户研究	009
1.4.2 系统概念开发	015
1.4.3 系统需求和架构开发	019
1.4.4 系统设计开发	023
1.4.5 系统集成	023
1.4.6 系统测试与验证	025
参考文献	026
第 2 章 项目论证与需求分析	027
2.1 装甲车辆型号项目论证	029
2.1.1 型号需求论证模式	029
2.1.2 基于能力的需求论证模式	030



2.1.3	需求论证流程	031
2.2	坦克装甲车辆型号需求分析规范化描述	034
2.2.1	总体模型	034
2.2.2	环节模型	038
2.3	需求分析	040
2.3.1	需求相关概念	040
2.3.2	需求工作内容	042
2.3.3	需求获取与分析方法	044
2.3.4	问题域开展的活动	045
2.3.5	方案域开展的活动	046
2.3.6	从问题域向方案域的需求转换	049
2.3.7	需求规范化	050
2.4	坦克装甲车辆需求工程过程	052
2.4.1	需求获取	052
2.4.2	需求分析	053
2.4.3	需求分析的成果	055
2.4.4	需求规范	055
2.4.5	需求管理	056
2.5	坦克装甲车辆工作分解结构	056
2.5.1	工作分解结构简介	056
2.5.2	工作分解结构基本理论	057
2.5.3	坦克装甲车辆研制工作结构分解构建	058
2.6	QFD 方法	064
2.6.1	方法简介	064
2.6.2	坦克装甲车辆 4 个域映射	065
2.6.3	确定权重的方法	066
2.6.4	QFD 方法实施步骤	066
2.6.5	QFD 方法应用的两种模式	068
	参考文献	071
第 3 章	坦克总体结构设计	073
3.1	坦克结构参数设计	074
3.2	坦克总体布局设计	089
3.2.1	基于乘员的总体布置设计	090



3.2.2	基于动力传动的总体布置设计	091
3.2.3	舱室布局设计	094
3.2.4	行动部分及车外的布局设计	112
3.3	基于多负载无人炮塔的坦克总体结构设计	115
3.3.1	总体布置	116
3.3.2	多负载无人炮塔设计	117
3.4	基于综合化防护的坦克总体结构设计	118
3.4.1	基于隐身防护的总体结构设计	118
3.4.2	基于主动拦截的总体结构设计	120
3.4.3	基于装甲防护的总体结构设计	122
3.4.4	基于二次效应防护的总体结构设计	123
3.5	坦克质量质心匹配与战斗全重控制设计	125
3.5.1	坦克战斗全重控制设计	125
3.5.2	坦克质量质心匹配	127
	参考文献	128
第4章	坦克总体信息架构设计	129
4.1	多平台协同信息能力	130
4.1.1	协同作战能力	130
4.1.2	协同模式	132
4.2	基于综合核心处理系统（ICP）的坦克信息架构	135
4.2.1	基于 ICP 的坦克综合式电子信息系统概述	135
4.2.2	ICP 机内模块架构	136
4.2.3	综合处理架构技术	137
4.2.4	网络体系结构	141
4.3	基于构件化需求的软件架构	151
4.3.1	ICP 软件架构概述	151
4.3.2	中间件技术	152
4.3.3	构件化应用软件开发	155
4.4	坦克信息系统动态综合集成技术	156
4.4.1	动态综合集成技术基本要素	159
4.4.2	信息系统动态综合阶段与功能	160
4.4.3	信息系统动态综合集成技术特点	165
	参考文献	167



第 5 章 坦克武器系统设计	171
5.1 现代坦克火力打击需求分析	173
5.1.1 对空中飞行器的打击需求	173
5.1.2 对主战坦克的打击需求	175
5.1.3 对轻型装甲车辆的打击需求	177
5.1.4 对其他目标的打击需求	178
5.2 间直瞄结合的火力配系设计	179
5.2.1 直瞄打击火力配系	180
5.2.2 间瞄火力打击配系	182
5.3 武器系统设计	182
5.3.1 武器系统设计原则及要求	182
5.3.2 火炮及弹药	185
5.3.3 火控系统设计	197
5.3.4 自动装填系统设计	204
5.4 高机动行进间射击的火力控制设计	211
5.4.1 射击精度指标分解	211
5.4.2 基于误差合成的命中概率计算研究	214
5.5 坦克武器系统试验与评估	218
5.5.1 火炮性能测试与评估	218
5.5.2 火控系统测试与评估	223
5.5.3 武器系统总体测试与评估	228
参考文献	232
第 6 章 坦克生存力设计	235
6.1 概述	236
6.2 现代坦克面临的威胁分析	237
6.3 现代坦克生存力与防护总体设计	241
6.3.1 现代坦克生存力模型	241
6.3.2 防护策略设计	243
6.3.3 防护能力需求分析及防护系统技战术指标分解	245
6.3.4 防护系统体系结构构建及防护系统总体方案设计	246
6.4 现代坦克隐身防护设计	248
6.4.1 现代坦克隐身设计基础	248



6.4.2	现代坦克布局外形结构隐身设计	249
6.4.3	隐身材料应用	250
6.4.4	现代坦克自适应隐身	251
6.5	现代坦克主动防护设计	251
6.5.1	主动防护系统的构成与原理	251
6.5.2	一体化主动防护系统设计	254
6.6	现代坦克装甲防护设计	257
6.6.1	装甲的结构及原理	257
6.6.2	基体装甲	258
6.6.3	附加装甲抗弹能力设计与计算	259
6.7	现代坦克防地雷设计	260
6.7.1	防地雷设计总则	260
6.7.2	防地雷设计	261
6.8	二次效应防护设计	266
6.9	特种防护设计	267
6.9.1	三防设计	267
6.9.2	强电磁脉冲防护设计	267
6.10	坦克综合防护系统试验与评估	268
6.10.1	坦克综合防护性能试验	268
6.10.2	生存力评估方法	272
	参考文献	273
第7章	坦克机动性匹配设计	275
7.1	现代坦克动力传动装置设计	277
7.1.1	动力装置设计	277
7.1.2	传动装置设计	280
7.1.3	辅助系统设计	284
7.1.4	动力传动装置总体设计	294
7.2	现代坦克行走装置设计	310
7.2.1	履带推进装置设计	310
7.2.2	悬挂装置设计	312
7.2.3	行走装置布局设计	318
7.3	现代坦克机动性能匹配	319
7.3.1	直驱驱动性能设计	320



7.3.2	转向性能设计	323
7.3.3	制动性能匹配计算	323
7.3.4	扭转振动特性计算	325
7.3.5	动力舱热流场匹配计算	327
7.3.6	红外特征优化匹配	329
7.3.7	通过性能设计	332
7.3.8	平顺性能设计	334
7.3.9	越野性能设计	334
7.4	现代坦克机动性试验与评估	335
7.4.1	机动性能台架试验	335
7.4.2	机动性能实车试验	347
	参考文献	354
第8章	现代坦克通用质量特性及电磁兼容性设计	355
8.1	通用质量特性概论	356
8.1.1	通用质量特性组织管理机构与职责	356
8.1.2	通用质量特性阶段管理任务	357
8.2	可靠性设计与验证	358
8.2.1	可靠性设计概述及常用方法	358
8.2.2	可靠性研制试验	360
8.3	维修性设计与评价	362
8.3.1	维修性设计概述	362
8.3.2	维修性主动设计方法	362
8.3.3	基于虚拟现实的维修性评价	364
8.4	保障性设计与分析	367
8.4.1	装备保障性分析	367
8.4.2	装备保障方案的确定与优化	369
8.4.3	装备保障资源确定	372
8.5	测试性设计与分析	374
8.5.1	测试性概述	374
8.5.2	测试性设计方法	374
8.5.3	测试性预计与分析	376
8.6	安全性设计与分析	379
8.6.1	安全性基础概念	379



8.6.2	安全性设计方法	380
8.6.3	安全性分析方法	384
8.7	环境适应性分析与设计	385
8.7.1	温度适应性设计	385
8.7.2	湿热环境适应性设计	389
8.7.3	抗冲击振动设计	390
8.7.4	盐雾环境适应性设计	390
8.7.5	高原环境适应性设计	391
8.7.6	其他环境适应性设计	392
8.8	电磁兼容性分析与设计	393
8.8.1	现代坦克电磁兼容性要求	393
8.8.2	电磁环境分析	395
8.8.3	干扰传播耦合路径分析	396
8.8.4	敏感设备及分系统分析	397
8.8.5	电磁兼容性设计	398
	参考文献	401
第9章	现代坦克乘员舱设计	403
9.1	坦克乘员舱一体化设计发展	407
9.1.1	装备人-机-环系统工程技术发展	407
9.1.2	人机一体化定义与发展	412
9.1.3	乘员舱一体化设计概念和内涵	413
9.2	坦克乘员舱一体化设计	415
9.2.1	设计目标与原则	416
9.2.2	设计工作内容	417
9.2.3	设计流程	422
9.2.4	主要性能指标设计与实现	431
9.3	坦克乘员舱仿真与试验	448
9.3.1	乘员舱基本人机匹配仿真	448
9.3.2	不同环境因素下的仿真试验	450
9.3.3	乘员舱人机工效半实物仿真试验验证	451
9.3.4	其他乘员舱相关试验	454
9.4	坦克乘员舱人-机-环设计评价	456
9.4.1	乘员舱人机工效设计评价	456



9.4.2 装甲车辆人-机-环设计评价体系	465
参考文献	467
第 10 章 现代坦克设计方法简介	469
10.1 基于 Top-Down 的坦克三维模型设计	471
10.1.1 Top-Down 设计的概念	471
10.1.2 Top-Down 设计的主要流程	472
10.1.3 Top-Down 设计的优势与发展趋势	476
10.2 基于动力学模型的坦克机动性仿真技术	477
10.2.1 模型拓扑结构分析及简化	477
10.2.2 履带车辆多刚体模型的建立	480
10.2.3 仿真与试验验证	482
10.3 模态匹配技术	486
10.3.1 模态分析内容	486
10.3.2 车体及炮塔结构建模及模态计算	487
10.3.3 动力总成悬置子系统建模及动态特性分析	494
10.3.4 基于振动激励源特性分析的模态匹配	498
10.4 坦克射击精度的协同仿真技术	502
10.4.1 整车模型的组成	502
10.4.2 炮控系统模型	502
10.4.3 协同仿真方法	504
10.5 总体协同设计系统构建技术	507
10.5.1 系统需求分析	507
10.5.2 履带车辆总体方案设计系统的体系架构	508
10.5.3 与相关信息系统之间的关系分析	509
10.5.4 协同设计系统关键技术	510
10.5.5 典型应用案例	511
参考文献	513
索引	515



第 1 章

绪 论