



★ ★ ★
“十三五”

国家重点出版物出版规划项目



国之重器出版工程
国防现代化建设

陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书

坦克装甲车辆 电气系统设计

Tank and Armored Vehicle Electrical System Design

刘勇 宋克岭 倪永亮 著

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

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

坦克装甲车辆电气 系统设计

刘 勇 宋克岭 倪永亮 著



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共有 11 章, 重点介绍坦克装甲车辆电气系统的概念、组成、功能、性能, 主要子系统的构成、设计思想、设计方法, 主要关键技术的工作原理、设计输入、分析计算, 电气设备及电气系统性能测试/试验技术等方面的知识, 以及一些新技术在坦克装甲车辆电气系统上的应用案例或经验。

本书具有较强的实用性和通用性, 主要供本行业研究、设计、制造、管理与教学人员使用, 也可以用作装甲车辆工程专业研究生专业教材和高年级本科生专业教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

坦克装甲车辆电气系统设计 / 刘勇, 宋克岭, 倪永亮著. —北京: 北京理工大学出版社, 2019. 4

(陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书)

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

ISBN 978 - 7 - 5682 - 6993 - 3

I. ①坦… II. ①刘…②宋…③倪… III. ①坦克 - 电气系统 - 设计②装甲车 - 电气系统 - 设计 IV. ①TJ811

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 081005 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京地大彩印有限公司

开 本 / 710 毫米 × 1000 毫米 1/16

印 张 / 18.75

责任编辑 / 陈莉华

字 数 / 326 千字

文案编辑 / 陈莉华

版 次 / 2019 年 4 月第 1 版 2019 年 4 月第 1 次印刷

责任校对 / 周瑞红

定 价 / 92.00 元

责任印制 / 李志强

图书出现印装质量问题, 请拨打售后服务热线, 本社负责调换

《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

《国之重器出版工程》

编辑委员会

主任：苗圩

副主任：刘利华 辛国斌

委员：冯长辉 梁志峰 高东升 姜子琨 许科敏

陈因 郑立新 马向晖 高云虎 金鑫

李巍 高延敏 何琼 刁石京 谢少锋

闻库 韩夏 赵志国 谢远生 赵永红

韩占武 刘多 尹丽波 赵波 卢山

徐惠彬 赵长禄 周玉 姚郁 张炜

聂宏 付梦印 季仲华



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，是一个最具临场感、最实时、最基本的信息节点，其技术的先进性代表了陆军现代化程度。

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等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所取得的重要进展，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、火力防护、电气系统、电磁兼容、人机工程等方面，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14分册构成的《陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书》（第一辑），具体名称如下：《装甲车辆行驶原理》《装甲车辆构造与原理》《装甲车辆制造工艺学》《装甲车辆悬挂系统设计》《装甲车辆武器系统设计》《装甲防护技术研究》《装甲车辆人机工程》《装甲车辆试验学》《装甲车辆环境适应性研究》《装甲车辆故障诊断技术》《现代坦克装甲车辆电子综合系统》《坦克装甲车辆电气系统设计》《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》。

《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“‘十三五’国家重点出版物出版规划”项目、“国之重器出版工程”和“国家出版基金”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



前 言

《坦克装甲车辆电气系统设计》重点介绍了坦克装甲车辆电气系统的概念、组成、功能、性能，主要子系统的构成、设计思想、设计方法，主要关键技术的工作原理、设计输入、分析计算，电气设备及电气系统性能测试/试验技术等方面的知识，以及一些新技术在坦克装甲车辆电气系统上的应用案例或经验。

本书共分 11 章，第 1 章坦克装甲车辆电气系统主要介绍坦克装甲车辆电气系统的基本概念、组成、功能和电气系统设计指标；第 2 章电源匹配与电网平顺性设计主要介绍电气系统供耗电平衡设计和电网平顺性设计，前者包括任务剖面分析、各任务剖面下用电设备工况分析、整车用电设备的功耗统计以及电源系统匹配参数的选择，后者包括电网特性、电网扰动分析及扰动抑制技术；第 3 章电气系统接口设计主要介绍电气系统接口的分类、功能、特性，接口设计要求以及接地网络特性和接地网络设计等；第 4 章电能传输与分配主要介绍配电体系架构、配电技术和电能传输设备设计。配电体系架构包括电网供电体制和配电网，配电技术包括直流 28 V、270 V 配电技术，电能传输设备设计包括电路旋转连接器和电缆设计；第 5 章高压供配电及保护技术主要介绍高压供电安全设计的必要性、供电安全设计和集成化、构件化供电设计技术；第 6 章电起动、发电及电抽尘系统主要介绍电起动系统、起动发电一体机及控制系统和电抽尘系统；第 7 章仪表与传感器主要介绍仪表的发展过程、形式、布局设计，传感器的组成、分类、特性以及传感器同仪表的匹配设计；第 8 章辅助电源分系统主要介绍铅酸蓄电池的发展动态、发展历程、特性、成组设计



技术, 以及超级电容、镉镍电池、锂离子电池等新型储能电源; 第9章车载辅机电源技术主要介绍车载辅机电源的发展历程、组成及功能, 辅机发动机, 发动机选型, 发动机起动控制, 辅机发电机, 辅机电源与主机电源并网技术以及减振、连接传动与热管理技术; 第10章电源管理技术主要介绍电源管理技术的内涵, 基于电源容量的动态管理和智能功率模块技术, 以及电源管理控制器的设计技术; 第11章电气系统测试试验技术主要介绍电气设备的电性能测试、环境适应性测试、电磁兼容性测试和安全测试, 以及电气系统性能测试、起动扰动测试和电磁兼容试验等内容。

本书在继承传统电气设计理论和方法的基础上, 力图以未来战争对现代坦克装甲车辆电气系统的需求、现代坦克装甲车辆电气系统的特点和发展趋势为出发点, 结合近年来国内外取得的科研成果, 融合现代设计理论和方法, 系统介绍现代坦克装甲车辆电气系统设计的基本概念、技术特点、关键技术、设计理论与方法以及工程应用等知识, 使本书具有时代特色和技术先进性。本书具有较强的实用性和通用性, 主要供本行业研究、设计、制造、管理与教学人员使用, 也可以用作装甲车辆工程专业研究生专业教材和高年级本科生专业教材。

本书第1章由刘勇、刘胜利撰写, 第2章由郭会然撰写, 第3章由倪永亮、刘胜利撰写, 第4章由李怡麒、宋克岭、张思宁撰写, 第5章由宋克岭撰写, 第6章由尹中明、刘胜利、田德文撰写, 第7章由郑洁、倪永亮撰写, 第8章由宋克岭、李申、刘新权撰写, 第9章由尹中明撰写, 第10章由李怡麒撰写, 第11章由刘胜利、刘勇撰写。全书由刘勇起草撰写大纲和最终审定, 由倪永亮统稿。

本书在撰写过程中得到了中国人民解放军陆军研究院装甲兵研究所朱宗平高工、彭真明高工, 中国人民解放军陆军装甲兵学院马晓军教授, 北京理工大学沙德尚教授, 中国北方车辆研究所卢权华研究员、高峰研究员等人的指导, 并根据他们提出的宝贵意见进行了修改, 在编写中参考了许多专著和论文, 在此向以上为本书的出版付出心血的所有同人以及本书的主审专家和出版编审一并表示衷心感谢。

由于作者的知识、经验和水平有限, 书中难免存在不妥和错漏之处, 恳请读者批评指正。

刘 勇



目 录

第 1 章 坦克装甲车辆电气系统	001
1.1 电气系统的组成及功能	003
1.1.1 电气系统的组成	003
1.1.2 电气系统的功能	008
1.2 电气系统设计指标	009
1.2.1 电气系统的主要电气指标	009
1.2.2 电气系统的工作环境指标	010
第 2 章 电源匹配与电网平顺性设计	013
2.1 供耗电平衡设计	014
2.1.1 任务剖面分析	014
2.1.2 各任务剖面下用电设备工况分析	015
2.1.3 整车用电设备的功耗统计	016
2.1.4 各任务剖面下功耗的计算	018
2.1.5 电源系统匹配参数的选择	018
2.2 电网的平顺性设计	021
2.2.1 电网的特性	021
2.2.2 电网扰动测试与分析	024
2.2.3 电网扰动抑制技术	027



第 3 章 电气系统接口设计	033
3.1 电气接口	034
3.1.1 电气接口的功能	034
3.1.2 电气接口的特性	034
3.1.3 电气接口的分类	035
3.1.4 非数字接口设计	035
3.1.5 总线信号接口	037
3.2 接地网络设计	037
3.2.1 接地网络特性	037
3.2.2 接地网络的具体设计	038
第 4 章 电能传输与分配	043
4.1 配电体系架构	044
4.1.1 电网供电体制	044
4.1.2 配电网络	045
4.2 配电技术	047
4.2.1 直流 28 V 配电技术	047
4.2.2 直流 270 V 配电技术	048
4.3 电能传输设备设计	050
4.3.1 电路旋转连接器	050
4.3.2 电缆设计	054
第 5 章 高压供配电及保护技术	063
5.1 高压供电安全设计的必要性	065
5.1.1 电流对人体的作用	065
5.1.2 安全电流及其有关因素	066
5.1.3 安全电压和人体电阻	068
5.2 高压供电体制下供电安全设计	068
5.2.1 机械设计	069
5.2.2 电气设计	071
5.2.3 控制策略	083
5.3 集成化设计	084
5.4 构件化设计	086



第 6 章 电起动、发电及电抽尘系统	087
6.1 电起动系统	089
6.1.1 起动电机的工作原理及起动特性	089
6.1.2 电起动控制	092
6.2 发电系统	093
6.2.1 发电机	093
6.2.2 电压调节控制	102
6.3 起动发电一体机及控制器	104
6.3.1 起动发电一体机原理	104
6.3.2 起动发电一体机控制器的原理	105
6.4 电抽尘系统	109
6.4.1 电抽尘系统的原理及组成	109
6.4.2 抽尘电机负载特性分析	109
6.4.3 抽尘电机	110
6.4.4 电抽尘控制及保护	116
第 7 章 仪表与传感器	117
7.1 仪表	118
7.1.1 仪表的发展过程	118
7.1.2 仪表的几种形式	120
7.1.3 仪表布局设计	125
7.1.4 仪表的工作特性及误差	128
7.2 传感器	130
7.2.1 传感器的组成	130
7.2.2 传感器的分类	131
7.2.3 传感器的特性	133
7.2.4 温度传感器	135
7.2.5 压力传感器	140
7.2.6 电流传感器	143
7.2.7 转速传感器	144
7.2.8 油量传感器	145
7.2.9 传感器的选型	146
7.2.10 传感器与仪表的匹配设计	147



第 8 章 辅助电源分系统	149
8.1 铅酸蓄电池概述	151
8.1.1 国外铅酸蓄电池的发展动态	152
8.1.2 国内铅酸蓄电池的发展历程	152
8.2 铅酸蓄电池成组设计及特性	153
8.2.1 铅酸蓄电池成组技术	153
8.2.2 铅酸蓄电池的特性	159
8.3 新型储能电源	166
8.3.1 超级电容	166
8.3.2 镉镍电池	182
8.3.3 锂离子电池	184
第 9 章 车载辅机电源技术	193
9.1 车载辅机电源的发展历程及趋势	194
9.1.1 安装使用车载辅机电源的必要性	194
9.1.2 车载辅机电源技术现状及发展趋势	196
9.2 车载辅机电源的组成与功能	198
9.2.1 车载辅机电源的组成	198
9.2.2 车载辅机电源的功能	198
9.3 辅机发动机	199
9.3.1 内燃机	199
9.3.2 燃气轮机	202
9.3.3 转子机	206
9.4 发动机功率选用计算	209
9.5 发动机起动控制	211
9.5.1 发动机起动方法	211
9.5.2 起动系的组成	213
9.5.3 起动控制	213
9.5.4 发动机低温冷起动	213
9.6 辅机发电机	213
9.7 辅机电源与主机电源并网技术	214
9.7.1 并网目的	214
9.7.2 并网方式	214



9.7.3	并网要解决的问题	214
9.7.4	发电机与发电机之间的并网	215
9.7.5	电源变换装置与电源变换装置之间的并网	215
9.7.6	发电机与电源变换装置之间的并网	216
9.8	安装减振、连接传动与热管理技术	217
9.8.1	辅机电源安装减振设计	217
9.8.2	辅机电源的连接传动设计	223
9.8.3	辅机电源热管理技术	224
第 10 章	电源管理技术	231
10.1	电源管理总体技术	233
10.1.1	电源管理控制模型	233
10.1.2	外接电源管理	236
10.1.3	辅助电源管理	237
10.1.4	主发电系统或辅机电源管理	237
10.1.5	用电设备管理	238
10.2	电源管理控制器设计技术	240
10.2.1	电源管理控制器规划	240
10.2.2	电源管理控制器总线接口设计	242
10.2.3	电源管理控制器结构设计	242
第 11 章	电气系统测试试验技术	245
11.1	电气设备测试与试验技术	246
11.1.1	电源适应性测试	246
11.1.2	环境适应性试验	250
11.1.3	电磁兼容性测试	256
11.1.4	安全性测试	263
11.2	电气系统性能测试	263
11.2.1	概述	263
11.2.2	电气系统稳态性能测试	264
11.2.3	电气系统动态性能测试	265
11.2.4	电气系统其他性能测试	266
参考文献	268
索引	269



第 1 章

坦克装甲车辆电气系统

本章主要介绍坦克电气系统的组成、功能以及电气系统的主要指标。全章共分两部分，第一部分主要介绍电气系统的组成及主要功能。电气系统主要完成坦克装甲车辆供配电，电起动及控制，电抽尘及控制，驾驶员操控，驾驶员观察信息的采集、处理、显示等功能，实现整车电能管理和分配。第二部分主要介绍电气系统主要参数及工作环境指标。坦克装甲车辆电源系统主要有直流 28 V 和 270 V

体制，直流 28 V 体制的电源特性满足 GJB 298—1987 《军用车辆 28 伏直流电气系统特性》的要求，直流 270 V 体制的电源特性参照 GJB 181A—2003 《飞机供电特性》的要求执行。电气系统部件的环境特性指标适应坦克装甲车辆作战使用指标。



| 1.1 电气系统的组成及功能 |

1.1.1 电气系统的组成

1. 坦克装甲车辆电气系统的基本概念

坦克装甲车辆电气系统是电能的产生、转换和使用的一系列功能设备的有效组合,实现与电网相连的发电、输电、配电、电能控制及与相关设备的控制。同时研究装甲车辆的供耗电平衡、电网特性、系统匹配及与相关设备的电接口关系。

随着坦克装甲车辆控制系统自动化、信息化的发展,借助智能化管理技术和多路传输技术,电能和信息的传输已经从点对点控制向集成化、智能化、信息一体化发展,推动了整车电气、电子系统在更高层次的交叉与组合,促进车辆各分系统机电一体化的进程。

2. 坦克装甲车辆电气系统的组成

坦克装甲车辆电气系统的组成主要包括电源系统、起动系统、抽尘系统、仪表及传感器系统、电能分配与传输系统、车内外照明系统等,如图 1-1、图 1-2 所示。

