



国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT

★ ★ ★
“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

装甲车辆 行驶原理

Driving Principle of Armored Vehicle

胡纪滨 李雪原 魏超 编著

 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

装甲车辆行驶原理

胡纪滨 李雪原 魏超 编著

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

内 容 简 介

本书系统地阐述了履带车辆的直线行驶、转向和垂向运动规律。针对3个方向的运动,本书相关章节给出了较为详细的力学建模与运动特性分析过程,同时还介绍了各方向运动的评价方法、性能指标和影响因素。此外,本书针对履带车辆的行驶通过性能也进行了一定的阐述,给出了履带车辆通过性能的分析方法。书中纳入了国内外近年来关于履带车辆研究的一些成果,更新了部分经验数据。

本书可供大专院校相关专业的学生使用,也可供从事履带车辆设计的科技人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

装甲车辆行驶原理/胡纪滨,李雪原,魏超编著. —北京:北京理工大学出版社,2019.6

(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 - 7108 - 0

I. ①装… II. ①胡… ②李… ③魏… III. ①装甲车 - 车辆运行
IV. ①TJ811

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第112292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 / 33.5

字 数 / 578千字

版 次 / 2019年6月第1版 2019年6月第1次印刷

定 价 / 166.00元

责任编辑 / 王玲玲

文案编辑 / 王玲玲

责任校对 / 周瑞红

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

《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

《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



装甲车辆行驶原理

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

履带装甲车辆由于采用履带行驶装置，在越野环境尤其是在无路条件下，机动性与通过性能要优于轮式车辆，因此履带装甲车辆依旧是陆面机动装备的主要形式之一。

本书系统地阐述了履带车辆的直线行驶、转向和垂向运动规律。针对3个方向的运动，本书相关章节给出了较为详细的力学建模与运动特性分析过程，同时还介绍了各方向运动的评价方法、性能指标和影响因素。此外，本书针对履带车辆的行驶通过性能也进行了一定的阐述，给出了履带车辆通过性能的分析方法。通过阅读本书，可使读者从理论上对履带车辆行驶性能有一个系统的理解，并了解提高履带车辆行驶性能的方法。

作者长期从事履带车辆行驶理论与技术方面的研究工作，书中纳入了国内外近年来关于履带车辆研究的一些成果，更新了部分经验数据。

本书共分为8章，第1~3章阐述了履带车辆直线行驶原理；第4和5章阐述了履带车辆的转向理论；第6章阐述了履带车辆的行驶平稳性；第7和8章阐述了履带车辆的通过性相关知识。

本书第1~3章由胡纪滨老师编著；第4和5章由李雪原老师编著；第6~8章由魏超老师编著。燕山大学的杨树军老师和中国人民解放军陆军装甲兵学院的郭晓林老师在本书的编写过程中提供了许多宝贵意见，张雨甜博士、赵越博士、付苗苗硕士、孙文迪硕士等研究生在本书的编辑过程中参与了大量工作，在此，我们一并表示衷心感谢。

由于作者水平有限，疏漏之处在所难免，敬请读者批评指正。

作 者



目 录

第 1 章 履带装甲车辆直线行驶力学	001
1.1 车辆直线行驶运动学	003
1.1.1 履带运动学	004
1.1.2 车辆整体运动学	006
1.2 履带与地面的相互作用	007
1.2.1 土壤的力学特性	007
1.2.2 地面对车辆的作用力计算	013
1.2.3 履带牵引力和滑转率关系	015
1.2.4 挂钩牵引力	016
1.3 车辆直线行驶的内部损失和效率	016
1.3.1 车辆动力需求与供给	017
1.3.2 动力装置及其特性	018
1.3.3 动力装置的功率损失及其效率	029
1.3.4 传动装置的功率损失及其效率	032
1.3.5 履带行驶装置的功率损失及其效率	033
1.3.6 车辆的总效率	046
1.4 直线行驶时作用于车辆上的外力	047
1.4.1 车辆重力 G	047



1.4.2	挂钩阻力 R_g	048
1.4.3	地面法向反力 N	048
1.4.4	空气阻力 R_k	048
1.4.5	车辆行驶的地面变形阻力 R_f	049
1.4.6	车辆牵引力 F	055
1.5	车辆直线行驶动力学方程	062
1.5.1	车辆质心运动方程式	062
1.5.2	发动机牵引力	063
1.5.3	质量增加系数 δ	065
第2章 车辆直线行驶快速性		067
2.1	车辆的动力性	069
2.1.1	牵引特性和动力特性曲线绘制	069
2.1.2	动力特性曲线的应用	071
2.1.3	改善装甲车辆动力特性的措施	079
2.2	车辆的起步与加速性	082
2.2.1	车辆的加速过程	083
2.2.2	加速第一阶段分析	084
2.2.3	加速第二阶段分析	090
2.2.4	加速第三阶段分析	091
2.2.5	提高有级式机械传动车辆加速性的措施	092
2.3	车辆的功率利用性	094
2.4	车辆的燃油经济性	097
2.4.1	车辆燃油经济性评价指标	097
2.4.2	车辆燃油经济性的计算	098
2.5	车辆的制动性	102
2.5.1	制动性及评价指标	102
2.5.2	制动力	103
2.5.3	制动距离	106
2.5.4	不同制动方法的制动效果分析	109
2.5.5	制动效能的恒定性	113
2.5.6	制动时的方向稳定性	114



2.6 采用液力传动系统的车辆动力特性	114
2.6.1 液力变矩器的基本结构和工作原理	115
2.6.2 液力变矩器的特性	117
2.6.3 液力变矩器与发动机的共同工作特性	122
第3章 坦克的牵引计算	131
3.1 确定发动机的最大功率	133
3.2 确定坦克的传动范围	135
3.3 确定排挡数目及中间排挡的划分	138
3.3.1 按几何级数划分排挡	138
3.3.2 按典型阻力划分排挡	145
3.3.3 按每挡功率利用系数划分排挡	146
附录 坦克牵引计算实例	151
第4章 坦克转向运动学和动力学	155
4.1 概述	157
4.1.1 基本概念和术语	157
4.1.2 转向性和转向性评价指标	161
4.1.3 履带式车辆转向的特点	162
4.2 转向运动学	165
4.2.1 履带运动学	165
4.2.2 整体运动学	170
4.3 转向动力学	172
4.3.1 作用在坦克上的外力	173
4.3.2 作用在坦克上的外力矩	178
4.3.3 转向阻力系数	180
4.3.4 转向所需牵引力和制动力	182
4.4 *纵向力和横向力作用下的坦克转向	188
4.4.1 纵向力作用下的坦克转向	189
4.4.2 横向力作用下的坦克转向	199
4.4.3 离心力作用下的坦克转向	209
4.4.4 结论	213



4.5 转向阻力系数实验原理	213
第5章 坦克转向功率平衡和牵引计算	221
5.1 转向机构的分类	223
5.1.1 根据转向运动学系数分类	223
5.1.2 根据功率传递路线分类	225
5.1.3 按照规定转向半径数目分类	227
5.2 转向功率平衡方程式及转向时外阻消耗的功率	228
5.2.1 转向功率平衡方程式	228
5.2.2 外阻力消耗的功率	230
5.3 单功率流转向机构功率平衡和牵引计算	235
5.3.1 二级行星转向机构简介	235
5.3.2 操纵停车制动器转向	237
5.3.3 操纵转向制动器转向	252
5.3.4 具有独立式转向机构坦克的反转向	267
5.3.5 对二级行星转向机构的评价	271
5.3.6 差速式单流转向机构简介	271
5.3.7 对单功率流转向机构的评价	275
5.4 双功率流传动原理	276
5.4.1 概述	277
5.4.2 双流传动功率的分流和汇流	285
5.4.3 双流传动的运动学	292
5.4.4 直驶时两路功率的分配	317
5.5 液压转向双流传动功率平衡和牵引计算	319
5.5.1 概述	319
5.5.2 液压转向双流传动运动学	322
5.5.3 液压转向双流传动动力学	325
5.5.4 转向功率平衡和转向牵引计算	329
5.6 复合转向双流传动功率平衡和牵引计算	338
5.6.1 液压与机械复合转向	338
5.6.2 液压与液力复合转向	341
5.7 液压机械连续无级传动	347



5.7.1	液压机械连续无级传动原理	348
5.7.2	液压机械连续无级综合传动	356
第6章	车辆的平稳性	365
6.1	概述	366
6.1.1	平稳性概念	366
6.1.2	研究平稳性的原因	366
6.1.3	平稳性的研究方法	367
6.2	人体对振动的反应和履带装甲车辆平稳性的评价指标	367
6.2.1	人体对振动的反应	367
6.2.2	舒适性的评价方法	369
6.2.3	履带装甲车辆平稳性的评价指标	371
6.3	随机信号分析基础知识	382
6.3.1	随机信号分析基本概念	382
6.3.2	信号的谱分析	384
6.3.3	功率谱与概率统计特征	387
6.4	路面不平度统计特性	389
6.4.1	路面不平度概念	389
6.4.2	路面不平度的谱描述	389
6.4.3	空间频率与时间频率	391
6.4.4	空间频率功率谱与时间频率功率谱	392
6.4.5	输入信号功率谱与输出信号功率谱	393
6.5	履带式装甲车辆典型悬挂元件特性	393
6.5.1	扭杆弹簧特性	393
6.5.2	油气弹簧特性	396
6.5.3	阻尼器特性	406
6.6	履带装甲车辆车体的垂向振动分析	411
6.6.1	弹性中心	411
6.6.2	履带车辆振动模型的简化	415
6.6.3	车体单质量系统的垂直运动	416
6.6.4	车体单质量系统的垂直与俯仰运动	417
6.6.5	履带车辆半车模型	452



6.7 履带对车体振动的影响分析	459
第7章 坦克的稳定性	465
7.1 概述	466
7.2 坦克的静力稳定性	468
7.3 坦克的动力稳定性	470
第8章 坦克的通过性	473
8.1 概述	474
8.2 克服壕沟	475
8.3 克服垂直壁	477
8.4 地面的分类和特性	481
8.5 坦克在雪地的通过性	483
8.6 坦克在沼泽地的通过性	484
8.7 坦克在水稻田的通过性	492
8.8 撞击树木	496
8.9 坦克克服水障碍	497
参考文献	499
索引	500



第1章

履带装甲车辆直线行驶力学

履带装甲车辆指各种军用履带式战斗车辆及辅助车辆，包括坦克、履带式步兵战车、履带式装甲输送车、履带式火炮牵引车、履带式登陆车、履带式侦察车及各种战斗保障车辆等，属高速履带车辆，通常也称为坦克装甲车辆，以下简称为车辆。履带装甲车辆采用履带行驶装置，在野战尤其是在无路条件下，优于轮式车辆。履带行驶装置十分复杂，也比较昂贵，但到目前为止，还没有更理想的行驶装置能取而代之。

车辆行驶的能量由动力装置供给。行驶过程中，动力装置产生的功率消耗于克服车辆本身动力装置、传动装置、履带行驶装置的内阻力和由行驶条件所决定的外阻力。内阻力仅取决于车辆本身装置的结构及特性，外阻力不仅与车辆本身的结构参数有关，还与外部介质的特性有关。

在直线行驶条件下，分析车辆行驶运动学、履带与地面的相互作用、作用于车辆上的外力及其特性、车辆功率的供给及内部损失，是学习和研究以后各章的基础。



| 1.1 车辆直线行驶运动学 |

车辆的运动包括车辆车体和履带的运动。车辆直线行驶时，车体的运动为平移运动，车体的平移速度为车辆的行驶速度，用 v 表示；履带的运动为复合运动，由与车体运动相同的牵连运动和履带相对于车体的卷绕运动组成。

车辆依靠两条封闭且平行旋转的履带环行驶。如图 1-1 所示，履带环的形状取决于主动轮 1、诱导轮 2、负重轮 3 及托带轮 4 的相互位置和履带各点的曲率半径。自由悬垂于两轮之间的履带段称为自由段；贴于主动轮、诱导轮、负重轮及托带轮上的履带段称为弧形段；被主动轮的工作拉力拉紧的履带段称为工作段；与地面接触的履带段称为接地段，也称为下支段；主动轮经托带轮至诱导轮的履带段称为上支段；位于车首方向的诱导轮（或主动轮）和

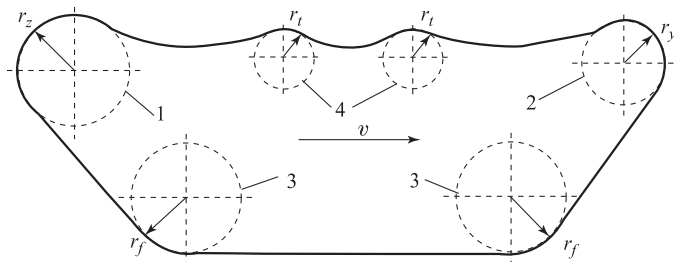


图 1-1 履带环