



★ ★ ★ ★
★ “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

Armored Vehicle Simulation Technology

装甲车辆仿真技术

兰小平 王超 郑思涓 等 编著

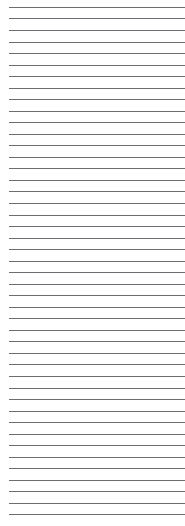


国家出版基金项目
NATIONAL PUBLICATION FOUNDATION



国家重点出版物出版规划项目

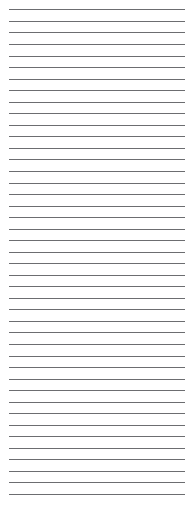
陆战装备科学与技术·坦克装甲车辆系统丛书



装甲车辆仿真技术

Armored Vehicle Simulation Technology

兰小平 王超 郑思涓 等 编著



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

内 容 简 介

本书共分5章,第1章简要介绍仿真技术;第2章系统论述了坦克装甲车辆、航空航天、船舶等不同行业领域在论证、设计与研制不同阶段过程中通用的仿真专项技术;第3章针对坦克装甲车辆自身领域的特殊性,系统讲述仿真技术在坦克装甲车辆机动性、防护性、火力性能、信息性能以及人机功效五大性能中的应用;第4章列举了不同仿真方向在设计中的经典应用实例,尤其是多学科联合仿真技术越来越多地应用到设计之中,主要包括机电液联合仿真、流固耦合仿真、刚柔耦合仿真等;第5章主要介绍保证坦克装甲车辆模型仿真置信度的关键技术VV&A。

本书可作为车辆工程、人机工程和控制类相关专业的本科生或研究生教材,也可供工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

装甲车辆仿真技术/兰小平等编著. —北京:北京理工大学出版社, 2020.3

(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 978-7-5682-8327-4

I. ①装… II. ①兰… III. ①装甲车-系统仿真 IV. ①TJ811

中国版本图书馆CIP数据核字(2020)第054591号

出 版 / 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 / 北京捷迅佳彩印刷有限公司

开 本 / 710毫米×1000毫米 1/16

印 张 / 22.5

彩 插 / 4

字 数 / 391千字

版 次 / 2020年3月第1版 2020年3月第1次印刷

定 价 / 108.00元

责任编辑 / 封 雪

文案编辑 / 封 雪

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



专家委员会委员（按姓氏笔画排列）：

- | | |
|-----|-----------------|
| 于全 | 中国工程院院士 |
| 王越 | 中国科学院院士、中国工程院院士 |
| 王小谟 | 中国工程院院士 |
| 王少萍 | “长江学者奖励计划”特聘教授 |
| 王建民 | 清华大学软件学院院长 |
| 王哲荣 | 中国工程院院士 |
| 尤肖虎 | “长江学者奖励计划”特聘教授 |
| 邓玉林 | 国际宇航科学院院士 |
| 邓宗全 | 中国工程院院士 |
| 甘晓华 | 中国工程院院士 |
| 叶培建 | 人民科学家、中国科学院院士 |
| 朱英富 | 中国工程院院士 |
| 朵英贤 | 中国工程院院士 |
| 邬贺铨 | 中国工程院院士 |
| 刘大响 | 中国工程院院士 |
| 刘辛军 | “长江学者奖励计划”特聘教授 |
| 刘怡昕 | 中国工程院院士 |
| 刘韵洁 | 中国工程院院士 |
| 孙逢春 | 中国工程院院士 |
| 苏东林 | 中国工程院院士 |
| 苏彦庆 | “长江学者奖励计划”特聘教授 |
| 苏哲子 | 中国工程院院士 |
| 李寿平 | 国际宇航科学院院士 |

《国之重器出版工程》 编辑委员会

编辑委员会主任：苗 圩

编辑委员会副主任：刘利华 辛国斌

编辑委员会委员：

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		



- 李伯虎** 中国工程院院士
- 李应红** 中国科学院院士
- 李春明** 中国兵器工业集团首席专家
- 李莹辉** 国际宇航科学院院士
- 李得天** 国际宇航科学院院士
- 李新亚** 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
中国机械工业联合会副会长
- 杨绍卿** 中国工程院院士
- 杨德森** 中国工程院院士
- 吴伟仁** 中国工程院院士
- 宋爱国** 国家杰出青年科学基金获得者
- 张彦** 电气电子工程师学会会士、英国工程技术
学会会士
- 张宏科** 北京交通大学下一代互联网互联设备国家
工程实验室主任
- 陆军** 中国工程院院士
- 陆建勋** 中国工程院院士
- 陆燕荪** 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、
原机械工业部副部长
- 陈谋** 国家杰出青年科学基金获得者
- 陈一坚** 中国工程院院士
- 陈懋章** 中国工程院院士
- 金东寒** 中国工程院院士
- 周立伟** 中国工程院院士



- 郑纬民 中国工程院院士
- 郑建华 中国科学院院士
- 屈贤明 国家制造强国建设战略咨询委员会委员、工业和信息化部智能制造专家咨询委员会副主任
- 项昌乐 中国工程院院士
- 赵沁平 中国工程院院士
- 郝 跃 中国科学院院士
- 柳百成 中国工程院院士
- 段海滨 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 侯增广 国家杰出青年科学基金获得者
- 闻雪友 中国工程院院士
- 姜会林 中国工程院院士
- 徐德民 中国工程院院士
- 唐长红 中国工程院院士
- 黄 维 中国科学院院士
- 黄卫东 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 黄先祥 中国工程院院士
- 康 锐 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 董景辰 工业和信息化部智能制造专家咨询委员会委员
- 焦宗夏 “长江学者奖励计划”特聘教授
- 谭春林 航天系统开发总师

《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的现代化程度。

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



前 言

坦克装甲车辆作为陆军地面武器的主要突击和防御力量，在过去和未来的战场上有着不可替代的作用。随着未来战场日益复杂多变，对其性能更为苛求。然而提高综合性能往往意味着部件增多、功能更加复杂、高新技术高度集成、多学科领域理论交叉应用等需求提升。而有机匹配车辆各项性能参数、合理布置各系统部件、最优化系统综合效能就是最重要和最艰巨的工作。无论是结构设计、性能评估还是优化过程，仿真技术都可以发挥主要作用。本书主要论述了坦克装甲车辆设计中涉及的各项仿真技术，并结合部分实际案例，供各位同事在工作中予以参考。

本书内容主要由五部分组成：

(1) 第1章简述仿真技术的产生和发展，系统阐述仿真技术中系统、模型、仿真等关键术语的定义及内涵，离散事件系统仿真的定义、内容以及不同分类的具体体现，仿真技术在坦克装甲车辆上应用的一般步骤（包括典型的结构、控制、动力学仿真等）。该章节由兰小平、王超编写完成。

(2) 第2章系统论述坦克装甲车辆、航空航天、船舶等不同行业领域在论证、设计与研制不同阶段过程中通用的仿真专项技术，包括结构分析与疲劳仿真技术、动力学仿真技术、流体仿真技术、控制系统仿真技术、作战对抗仿真技术、虚拟现实（增强现实）仿真技术、半实物仿真技术七大专项技术，分别从仿真技术的概述、理论基础以及仿真基本流程和应用软件三方面，简单描述其在坦克装甲车辆中的应用范围与基本步骤。该章节由王超完成“结构分析与疲劳仿真技术”内容编写，王军完成“动力学仿真技术”内容编写，汪



建兵完成“流体仿真技术”内容编写，陈锐完成“控制系统仿真技术”内容编写，兰小平、王超完成“作战对抗仿真技术”内容编写，兰小平、师雪完成“虚拟现实（增强现实）仿真技术”内容编写，周娜完成“半实物仿真技术”内容编写。

(3) 第3章针对坦克装甲车辆自身领域的特殊性，系统讲述仿真技术在坦克装甲车辆机动性能、防护性能、火力性能、信息性能以及人机功效性能五大性能中的应用。机动性能仿真包括整车通过性、加速性、平顺性、动力传动扭振仿真等；火力性能仿真包括射击精度、反应时间、命中概率以及火力效能评估仿真；防护性能仿真包括隐身性能、主动防护性能以及反装甲弹药防护性能仿真；信息性能仿真包括基于逻辑模型的信息流仿真和基于CANoe的车辆总线仿真等；人机功效性能仿真主要指人机系统仿真与评估。该章内容由王军完成“机动性”内容编写，焦丽娟完成“防护性能”内容编写，钟险峰完成“火力性能”内容编写，苏瑾完成“信息性能”内容编写，郑思涓完成“人机功效”内容编写。

(4) 第4章基于坦克装甲车辆研发流程，列举在系统论证、工程设计等不同阶段不同仿真方向在设计之中的经典应用实例，尤其是多学科联合仿真技术越来越多地应用到设计之中，主要包括机电液联合仿真、流固耦合仿真、刚柔耦合仿真等。该章内容由李剑锋编写完成。

(5) 第5章规范、标准的坦克装甲车辆模型VV&A过程是保证仿真置信度的关键技术，主要内容包括系统性能评估模型与评估构建方法，分布仿真VVA（建模与仿真的校核、验证和确认）/VVC（数据的校核、验证和认证）、仿真置信度/可信性评估的规范化方法，以及坦克装甲车辆VV&A典型案例等。该章内容由房加志、杨建新编写完成。

全书由兰小平总纂和策划，王超、杨建新负责统稿和审校。感谢李如强为人体数据采集提供的帮助。在编写过程中特别感谢北京朗迪锋科技有限公司在虚拟现实技术方面给予的帮助。

本书可作为车辆工程、人机工程和控制类相关专业的本科生或研究生教材，也可供工程技术人员参考。

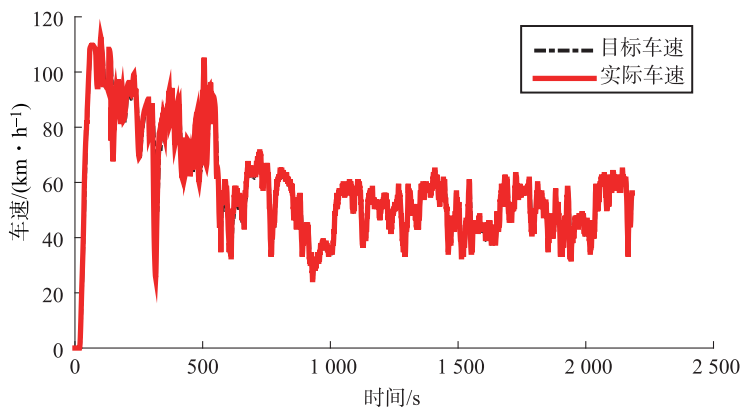


图 2-40 工况跟随仿真结果

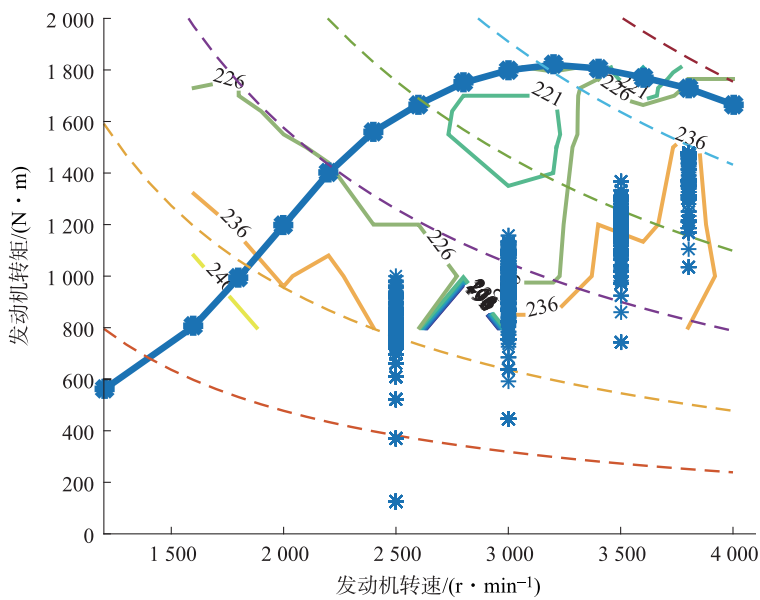


图 2-41 发动机工作点分布

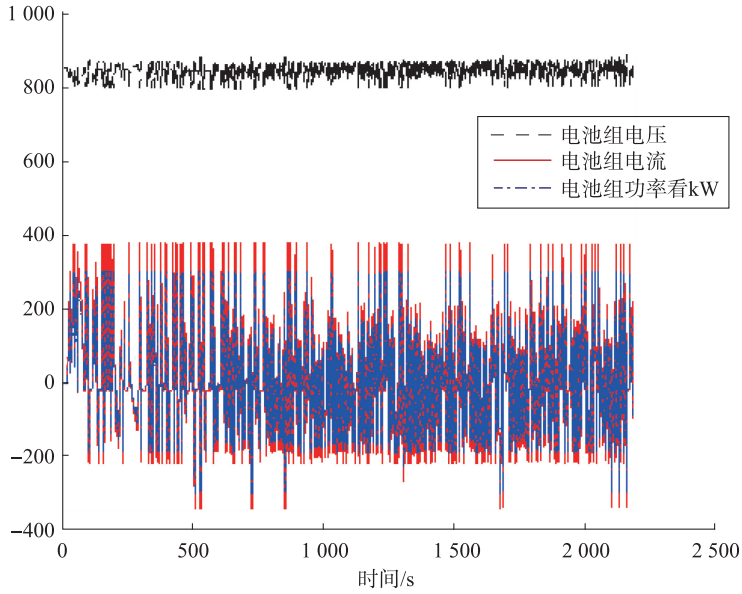


图 2-42 动力电池组工作状态

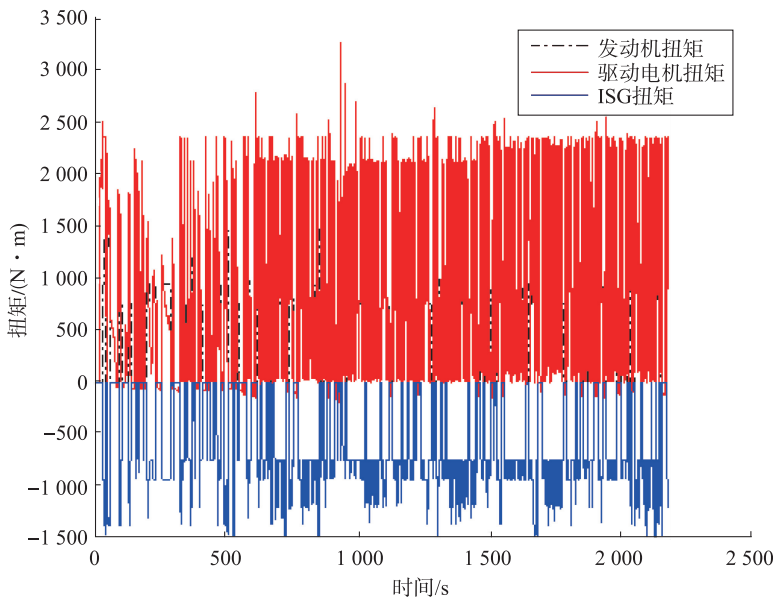


图 2-43 发动机、驱动电机及 ISG 扭矩

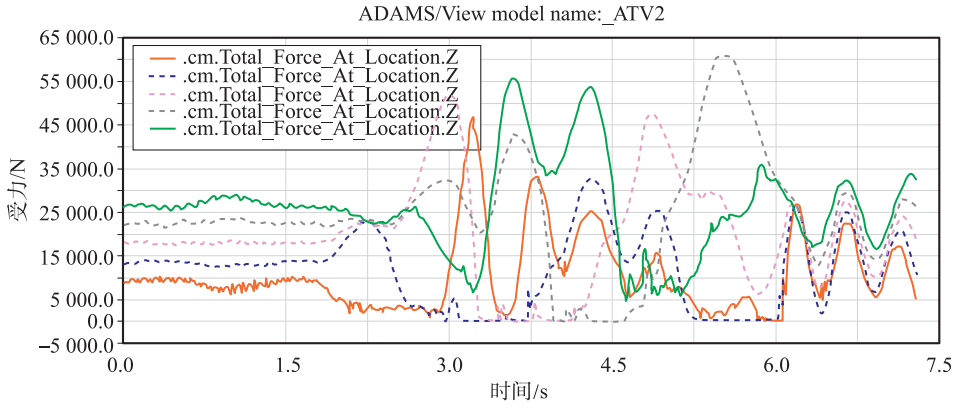


图 3-3 克服壕沟过程中各负重轮受力

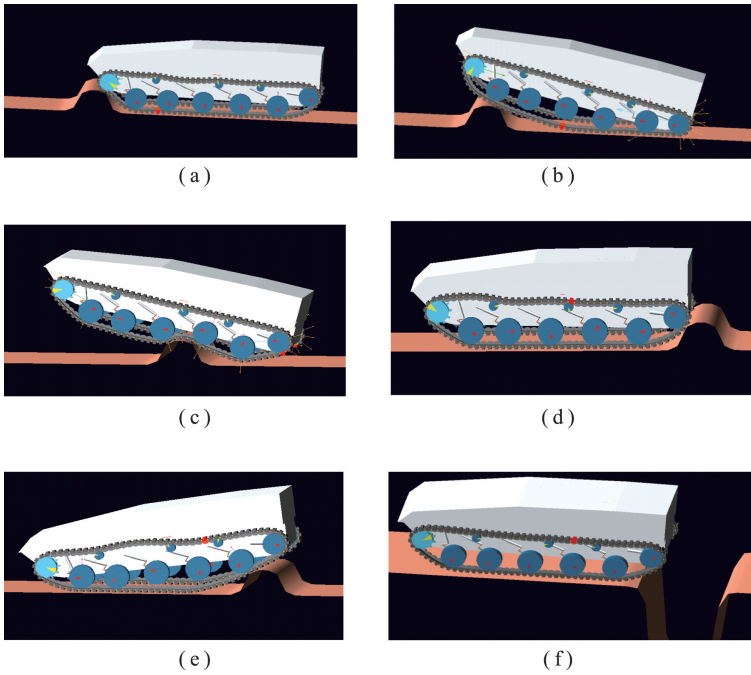


图 3-7 车辆跨越壕沟过程

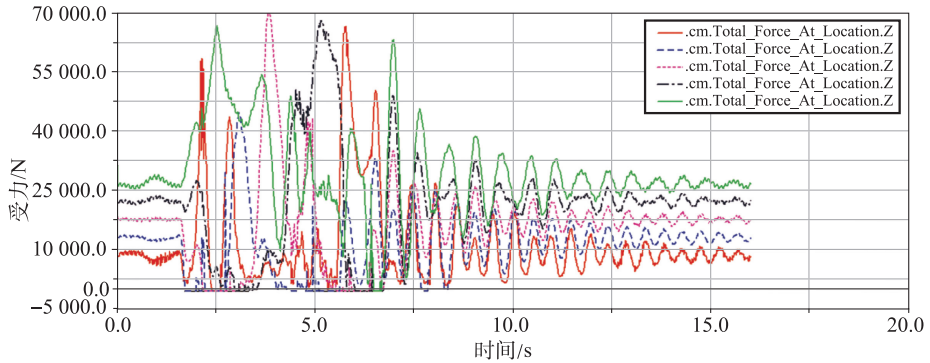


图 3-9 克服垂直墙过程中各负重轮受力

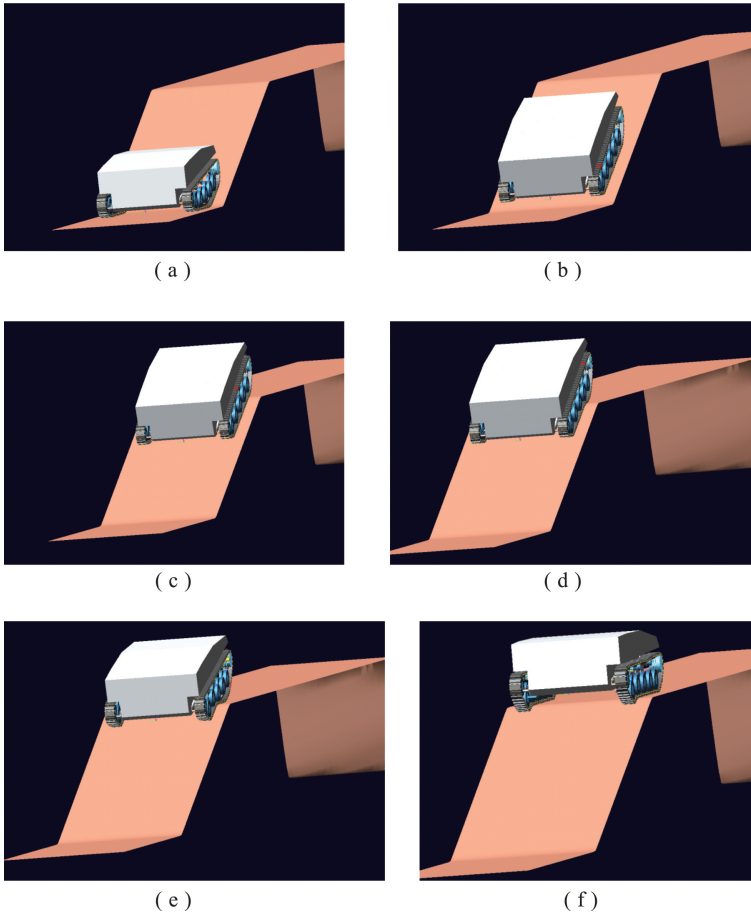


图 3-10 车辆爬纵坡过程

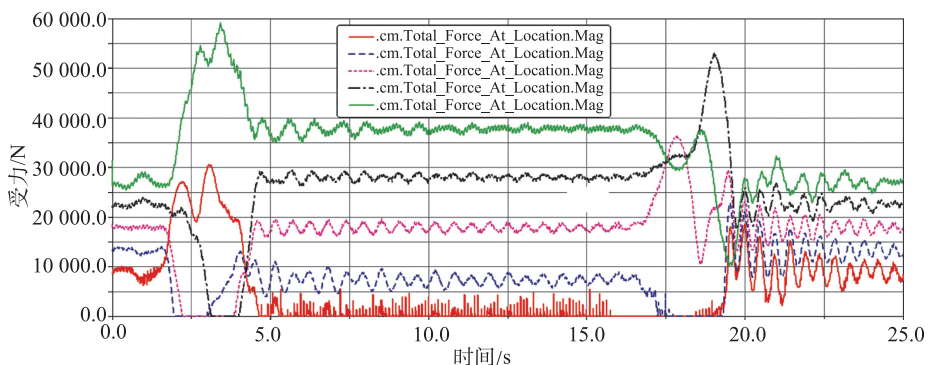


图 3-13 爬纵坡过程中各负重轮受力

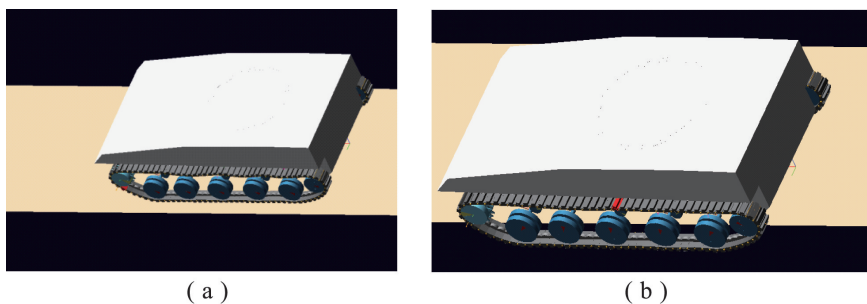


图 3-14 侧倾坡仿真过程（两侧履带转速一致，明显下滑）

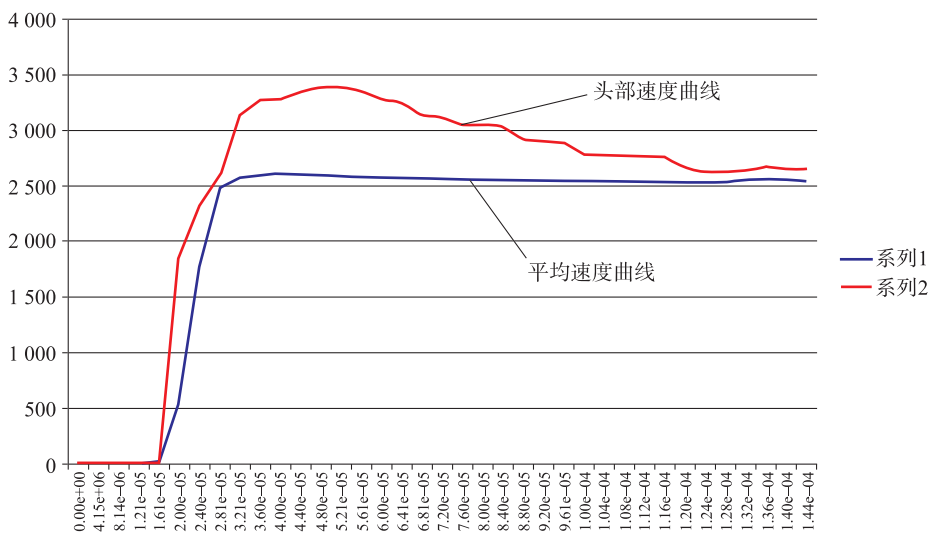


图 3-52 弹丸速度时间历程曲线