



汽车先进技术译丛
汽车技术经典手册



WILEY

国际地面-车辆系统协会ISTVS名誉会长黄祖永教授的经典著作!

地面车辆原理

(原书第4版)

THEORY OF GROUND VEHICLES

FOURTH EDITION

[加] 黄祖永 (Jo-Yung Wong) 著
贾振中 李升波 胡晓松 译

全书紧扣“提高车辆机动性能”这一主题，注重理论与实践相结合!

本版新增内容包括：新能源汽车、车辆底盘控制、智能车辆控制、计算机仿真等，全面反映地面车辆领域的最新进展!



 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛
汽车技术经典手册

地面车辆原理

[加] 黄祖永 (Jo-Yung Wong) 著
贾振中 李升波 胡晓松 译



机械工业出版社

《地面车辆原理》由车辆领域知名专家黄祖永 (Jo-Yung Wong) 教授编写。本书第1版 (英文版) 自1978年出版以来, 经过多次重印和再版, 深受广大学者的欢迎。原书第4版增添和更新了许多内容, 包括新能源汽车、车辆底盘控制、智能车辆控制、计算机仿真模型等。本书可作为高等院校和科研院所车辆工程、车辆动力学、越野车辆或地面力学等学科的教材或参考书, 也可供开发设计和研究地面机动车辆以及月球车、火星车等外太空探索车辆的工程技术人员和学者参考。

Copyright © 2008 by John Wiley & Sons, Inc.

All Rights Reserved. This translation published under license. Authorized translation from the English language edition, entitled Theory of Ground Vehicles, 4th, ISBN 978-0-470-17038-0, by J. Y. Wong. Published by John Wiley & Sons. No part of this book may be reproduced in any form without the written permission of the original copyrights holder.

本书中文简体字版由 Wiley 独家授权机械工业出版社出版。未经出版者书面允许, 本书的任何部分不得以任何方式复制或抄袭。

版权所有, 翻印必究。

北京市版权局著作权合同登记 图字: 01-2016-7264。

图书在版编目 (CIP) 数据

地面车辆原理/(加) 黄祖永 (Jo-Yung Wong) 著; 贾振中, 李升波, 胡晓松译. —北京: 机械工业出版社, 2018. 10

(汽车先进技术译丛. 汽车技术经典手册)

书名原文: Theory of Ground Vehicles, Fourth edition

ISBN 978-7-111-60281-1

I. ①地… II. ①黄… ②贾… ③李… ④胡… III. ①地面车辆-理论
IV. ①U469.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 140124 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑: 赵海青 责任编辑: 赵海青 责任校对: 郑 婕

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018 年 11 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm·23 印张·2 插页·562 千字

0001—2500 册

标准书号: ISBN 978-7-111-60281-1

定价: 199.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线: 010-88361066

机工官网: www.cmpbook.com

读者购书热线: 010-68326294

机工官博: weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网: www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网: www.cmpedu.com

译者序

本书作者为车辆领域知名专家黄祖永 (Jo-Yung Wong) 教授, ASME Fellow 和 IMechE Fellow, 他从事地面车辆研究多年, 曾担任国际地面-车辆系统协会 (ISTVS, International Society for Terrain-Vehicle Systems) 的名誉会长。本书第 1 版 (英文版) 自 1978 年出版以来, 经过多次重印和再版, 深受广大学者的欢迎。欧美和亚洲等许多地区的大学和研究院都将本书作为车辆工程、车辆动力学、越野车辆或地面力学的教材或参考书。同时还有很多工程技术人员和学者将本书作为参考书, 帮助他们开发设计和研究地面机动车辆以及月球车、火星车等外太空探索车辆。

本书第 1 版的中译本于 1985 年由机械工业出版社推出, 由黄祖永教授出国前在吉林工业大学 (现为吉林大学) 的老同事——李长祜、陈德兴、刘述学等人翻译, 并由陈秉聪教授 (中国工程院院士) 校订。随着时代发展和技术进步, 原书英文版也在不断更新, 其最新版为 2008 年的第 4 版, 其中增添和更新了诸多内容, 包括新能源汽车、车辆底盘控制、智能车辆控制、计算机仿真模型等。新版内容很好地反映了 ISTVS 协会的使命: 推进对地面车辆系统的认知, 用其改进工程实践和创新; 在地面车辆领域内, 促进先进知识的转换, 从而保护环境、节约能源、支持可持续发展并造福人类社会。

为便于国内学者参考, 我们对本书第 4 版进行了翻译。重庆大学的胡晓松教授负责第 3 章, 清华大学的李升波副教授负责第 7 章和第 8 章, 卡内基梅隆大学 (Carnegie Mellon University) 机器人研究所工作的贾振中博士负责其余章节, 并对全书整理校订。本书译者均在美国密歇根大学 (University of Michigan) 学习和工作过, 感谢我们的共同导师、汽车领域著名专家 Hwei Peng 教授的谆谆教诲。在第 4 版的翻译过程中, 我们借鉴和参考了不少第 1 版中译本的内容和语言结构, 在此向各位前辈学者表示诚挚敬意和衷心感谢!

由于译者水平所限, 书中难免存在疏漏和错误, 欢迎读者批评指正。

贾振中 (卡内基梅隆大学)

李升波 (清华大学)

胡晓松 (重庆大学)

第4版前言

自2001年本书第3版出版以来，它再次受到了行业专家和教育机构的充分认可，前后印刷次数已超过6次。北美、欧洲、非洲和亚洲等地区越来越多的大学和学院，都采用本书作为本科或研究生教材或参考用书。工业和科研机构中的众多专业人士继续将本书作为参考书，帮助他们设计、开发和研究机动车辆和地外车辆（注：如月球车和火星车）。所有这些都鼓励作者对本书进行更新。本书保留了第3版的总体目标、内容以及格式，但引入了新材料以反映地面交通技术的最新进展。

人们越来越趋向于在车辆的设计和开发中应用计算机仿真模型，因此本书在第2章中介绍了由作者及其同事开发的关于履带式车辆仿真模型的最新应用实例。第2章还增加了用于越野轮式车辆性能和设计评价的计算机辅助方法基本特征的大纲。这些计算机仿真模型不仅可以用于指导新一代越野车辆的开发，而且还有潜力开发载人或无人机器人探测车（用于对月球、火星以及其他行星的探测任务）中的移动平台子系统。第2章中还简要讨论了有限元方法和离散元方法在车辆-地面相互作用分析中的应用。随着人们对全球气候变化和未来石油供应日益强烈的关注，“清洁车辆”技术和可替代能源也吸引了人们的注意力。本书在第3章中新增了对内燃机排放、电力驱动、混合动力驱动和燃料电池的简介。第4章中扩展了对四轮驱动越野车辆牵引性能优化的讨论，为越野操作选择合适的车辆配置提供了指导准则，其中“轮式车辆与履带式车辆的对比”这一问题在第4章中进行了进一步的讨论。鉴于美国引入了第126号联邦机动车辆安全标准（Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS），本书第5章对车辆稳定性控制系统的讨论进行了扩展。对于车辆行驶平顺性（即振动特性）的评估，本书第7章中引入了对ISO 2631-1:1997国际标准的介绍，该标准用于评估全身振动对人类的影响。此外，我还更新了技术参数，如包括混合动力电动汽车在内的乘用车燃油经济性指标。

借此机会感谢我在工业界、研究机构以及大学的多位合作者，特别是 Jon Preston-Thomas 和 Wei Huang，感谢他们对我们研究的贡献，其中的一些内容在本书中有所介绍。我也十分感谢 Mike Galway、Changhong Liu、Jiming Zhou 在本书新版准备过程中所提供的技术援助。

黄祖永
于加拿大渥太华
2008年

第3版前言

本书第1版于1978年在美国发行，现在已经过去了20多年的时间。在此期间，本书第1版经过了10次印刷；本书的第2版于1993年发行，经过了7次印刷。北美、欧洲、亚洲和其他地区越来越多的大学都将本书作为汽车工程、车辆动力学、越野车辆工程或地面力学专业的教材。世界各地车辆行业的许多专业人士也将本书作为参考书。看到本书得到了如此广泛的接受，确实令人欣慰。

在进入新千年之际，汽车工业正面临着比以往更大的挑战，我们需要提供更安全、更环保、更节能的产品，以满足社会日趋严格的要求。其结果是，不断地有新技术被开发出来并被应用到实际产品中。因此，为了更好地满足与地面交通技术相关的教育和专业领域不断变化的需求，我编写了本书第3版。

为了提高产品的竞争力，缩短其开发周期对于车辆制造商而言至关重要。因此，虚拟样机技术在工业界中被广泛采用。然而，为了有效地实施这一过程，开发出可靠的计算机仿真模型来评价车辆性能是至关重要的。为了实现对道路车辆操控行为的真实模拟，一种被称为魔术公式（Magic Formula）的方法获得了越来越广泛的认可；该公式可从测试数据来表征轮胎的特性。本书第1章中包含了对魔术公式基本特征的讨论。对于越野车辆的性能和设计评价而言，尤其是针对它们在松软地面上的移动性能方面，人们已经开发出了各种计算机仿真模型，其中包括由我本人和我的同事们所开发的模型。令人鼓舞的是我们的模型已经发挥了显著作用，这些模型帮助北美、欧洲、亚洲以及其他地区的汽车制造商开发新一代高机动性越野车辆，同时协助政府机构评价候选车辆。为了表彰在这些仿真模型开发中的贡献，我们已经获得了学术团体所颁发的多项奖励，其中包括 George Stephenson Prize、Crompton Lanchester Prize 以及两次 Starley Premium Award，它们由机械工程师学会（Institution of Mechanical Engineers）颁发。这些仿真模型的主要特征及其实际应用在本书第2章中介绍。有关四轮驱动越野车辆牵引性能优化的新的试验数据（基于我们自己的研究）将在本书第4章中介绍。

为了进一步增强道路车辆的主动安全性，近年来人们引入了被称为“车辆稳定性控制”或“车辆动力学控制”的系统。这些系统的操作原理在第5章中描述。第6章中介绍了我们开发的一种与履带车辆在密实地面上进行滑移式转向相关的新理论。有证据表明这个新理论相对于现有理论有着显著改进，并且它为履带车辆的滑移式转向研究提供了一种统一方法。第7章介绍与电流变阻尼器（它被用于提高地面车辆的乘坐舒适性）性能相关的试验数据，该数据源于我们自己的研究。



虽然第3版中引入了新的话题、介绍了新的数据，但其总体目标、内容和格式则与先前版本保持一致。本书着重于阐述合理开发和设计无轨车辆（包括道路车辆、越野车辆以及气垫车辆）时所涉及的基本工程原理。

在一定程度上，这本书总结了30多年来我在地面交通技术领域的教学、科研和咨询方面的一些经验。借此机会再次感谢我在工业界、研究机构以及大学的同事和合作者，感谢他们的启发与合作；特别感谢 Alan R. Reece 博士、Leonard Segel 教授以及已故的 M. Gregory Bekker 博士。我也十分感谢 Carleton 大学交通技术研究实验室和安大略省尼皮恩市车辆系统开发公司的工作人员，感谢我现在和先前的博士后和研究生，感谢他们的贡献和帮助。我还要感谢政府机构和汽车制造商多年来对我们研究工作的支持。

黄祖永
于加拿大渥太华
2001 年

第2版前言

自本书第1版于1978年出版以来，已经经过了10次印刷。北美、欧洲、亚洲以及其他地区的很多工科学校都将本书用作汽车工程、车辆动力学、越野车辆工程、农业工程等课程的教材。1982年，本书被翻译成俄文，并在俄罗斯的莫斯科出版；1985年，本书被翻译成中文，并在中国首都北京出版。同时，在本领域内也发生了显著的技术进展。为了反映这些新的进展，同时满足教育和专业领域内需求的不断变化，出版本书第2版的时机已经成熟。

随着人类社会对节能、环保和安全的日益重视，运输技术正面临比以往任何时候都要严峻的挑战。为了提高燃油经济性、同时减少不良废气的排放，除了改善动力设备的设计之外，其他措施也受到强烈关注，如提高车辆的空气动力学性能、更好地匹配变速器与发动机、优化能量需求。为了提高驾驶安全性，防抱死制动系统和牵引力控制系统相继出台。为了提供更好的驾乘舒适性、同时保持良好的抓地性能，主动悬架和半主动悬架系统已经引起了人们相当大的兴趣。为了加快新产品的开发，人们已经开发出了计算机辅助方法用于优化车辆的性能和设计。本书第2版包含了对于此类技术以及领域内其他技术发展的讨论。此外，在第2版中也更新了各种专题中的数据。

《地面车辆原理》的第2版采用了与第1版相同的写作策略。本书着重阐述了在合理开发和设计无轨车辆背后的基本工程原理，所讨论的无轨车辆包括道路车辆、越野车辆以及气垫车辆等。本书涵盖了对这些车辆的工作特性、操控行为和乘坐舒适性的分析和评价。其中，再次强调了对不同类型的地面车辆特性进行分析和研究的一种统一方法。本书的主要目的是为高年级本科生和低年级研究生提供一本面向地面车辆工程研究的导论教材。此外，本书对车辆产业领域内的工程师和研究人员也有很好的参考价值。

类似于第1版，本书第2版也包括8章。第1章论述了充气轮胎的力学机理，包含了用于预测轮胎在受到纵向力或侧向力以及两者联合作用下的行为的实用方法，还增加了有关轮胎性能的新的实验数据。第2章分析车辆-地面之间相互作用的力学机制，该力学机制称为“地面力学”(terramechanics)，包含了用于越野车辆设计和性能评价的计算机辅助方法。此外，与各种地面机械性能参数相关的实验数据也进行了更新。第3章涉及道路车辆性能的分析 and 预测；其中更新了关于乘用车以及铰接式重型商用车的空气动力学性能信息。该章还对变速器与发动机之间的匹配程序进行了概述，以期实现更好的燃油经济性，同时保持足够的性能；介绍了无级变速器的特性及其对车辆燃油经济性和性能的影响。此外，该章还较为详细地介绍了防抱死制动系统和牵引力控制系统的操作原理以及它们对车辆性能和操控效果的影响。第4章讨论的主题是越野车辆的性能，对全轮驱动越野车辆的性能优化进行了扩展讨



论。此外，本章还包括了用于评价军用车辆的多种指标。第 5 章探讨了道路车辆的操控行为。除了对乘用车稳态和瞬态操作行为的讨论之外，本章还引入了对牵引式半挂车操控特性的讨论。该章还包括用于评估导向（行驶方向）响应的操控示意图。第 6 章的主题是履带式车辆的转向。除了滑移式转向之外，该章还介绍了履带式车辆的铰接式转向。第 7 章涉及了车辆的乘坐舒适性（即振动特性），其中涵盖了人体对振动的耐受性、车辆驾驶模型以及将随机振动理论用于乘坐舒适度评价的应用。此外，该章审查了悬架弹簧刚度、阻尼和非悬架质量对振动隔离特性、抓地效果以及悬架行程的影响，还讨论了主动悬架和半主动悬架的原理。除了传统的道路车辆和越野车辆，气垫式车辆在地面交通中也有应用。第 8 章中介绍了气垫系统的基本工作原理，还介绍了用于陆上和水上作业的气垫式车辆的独有特性。该章包含了有关围裙-地面相互作用的新数据。

本书中包括的内容，我已在 Carleton 大学地面交通技术的本科和研究生课程中讲授多年。此外，本书中的部分内容，也多次在研讨会以及多个国家和地区（包括加拿大、中国、芬兰、德国、意大利、新加坡、西班牙、瑞典、英国和美国）的职业发展项目中介绍过。

在编写本书第 2 版的时候，我从先前共事合作过的同事那里吸取了很多经验，这些同事来自于工业界、研究机构以及在北美、欧洲、亚洲等世界各地的大学。我特别感谢下列同仁的鼓励、启发、建议和意见，他们包括 A. R. Reece 博士（他先前在纽卡斯尔泰恩大学工作，现在是英格兰 Soil Machine Dynamics Limited 有限公司的常务经理）、L. Segel 教授（密歇根大学的荣誉教授）以及克拉门森大学的 E. H. Law 教授。我也十分感谢已故的 M. G. Bekker 博士，我十分有幸与他合作，一起参与科研项目和专业发展项目；本书的部分内容源自于此。

本书第 2 版的文字输入由 D. Dodds 完成，额外插图则由 J. Brzezina 准备，这里一并感谢。

黄祖永
于加拿大渥太华
1993 年

第1版前言

社会上对更好更安全的交通运输方式，对环境保护以及对节约能源的需求日益增长，这在交通运输技术的发展中激起了新的兴趣。在北美和其他地区越来越多的工科院校中，交通运输技术已经成为研究生和本科生培养计划中的一门学科课程。在 Carleton 大学为我的两门地面运输技术课程准备讲义时，我发现，尽管在研究报告和学术团体的期刊中蕴藏着丰富的信息，然而还没有一本适合于大学生的综合叙述的教材。我希望这本书将能够填补这一空白。

虽然这本书的主要目的是为了引导高年级本科生和低年级研究生对地面车辆的学习，但它同样会引起车辆工业领域内的工程师和研究人员的兴趣。本书涉及无轨地面车辆的理论和工程原理，包括道路车辆、越野车辆以及气垫车辆。它覆盖了对工作特性、操控行为和乘坐舒适性的分析及评价。本书着重阐述了车辆系统合理发展和设计背后的基本原则，也强调了适用于对不同类型地面车辆特性进行分析和研究的一种统一方法。

本书共分为 8 章。第 1 章讨论了充气轮胎的力学机理，并为道路车辆特性的研究提供了基础。第 2 章研究车辆行走装置-地面之间的相互作用，它对于越野车辆的性能评价是必不可少的。了解车辆和地面之间的相互作用，对研究车辆的工作特性、操控行为和乘坐舒适性都是很重要的，这是因为除了空气动力学输入之外，几乎所有其他影响地面车辆运动的力和力矩，都是通过行走装置和地面之间的接触而施加的。第 3 章论述了道路车辆性能的分析 and 预测。列入讨论的有车辆的动力装置和传动系统特性、性能极限、加速性能、制动性能和燃油经济性。第 4 章的研究主题是越野车辆的性能。其中讨论了牵引性能、牵引效率、工作时的燃油经济性、运输的生产率和效率、机动性地图和机动性分布。第 5 章分析了道路车辆的操作行为，包括稳态响应和瞬态响应以及导向（行驶方向）的稳定性。第 6 章的主题是履带式车辆的转向。其中讨论了滑移转向的力学、履带车辆的转向能力以及铰接式转向。第 7 章分析了车辆的乘坐舒适性（即车辆的振动特性）；其中包括人体对振动的适应、车辆振动模型以及随机过程理论在车辆振动分析中的应用。除了常规的道路和越野车辆，气垫车辆已被用于地面运输。第 8 章中讨论了气垫式系统的基本工程原理以及气垫车辆所独有的特征和特性。

本书的覆盖范围很广，对于细节的讨论因此受到限制。由于本书主要为学生而写，与最新发展相比，有些题目进行了简化处理。尽管如此，这本书应该能够为读者提供关于地面车辆理论的综合背景知识。

我曾将本书的部分材料用于我在 Carleton 大学所教授的两门关于地面运输技术的课程



中。它也被用于两门专业课程中。其中一门课程是在加拿大和瑞典的“地面-车辆系统分析”，由我和 M. G. Bekker 博士联合讲授，更早之前是与加利福尼亚州 Santa Barbara 的通用汽车公司 AC 电子防护研究室合作讲授的。另外一门课程是在 Carleton 大学的“重型商用车的制动和操作”，与英格兰 Cranfield 工学院下的汽车研究学院的 J. R. Ellis 教授和 Carleton 大学运输技术研究室的 R. R. Guntur 博士联合讲授。

在编写本书时，我从很多在工业、研究机构以及大学的同事身上，吸取了很多知识和经验。我希望向他们表达我深切的谢意。特别是对英格兰 Newcastle 大学的 A. R. Reece 博士、M. G. Bekker 博士和 J. R. Ellis 教授给我的鼓励表示感谢。

我也对给我信息和启发的参考文献的作者表示感谢，并对那些允许我复制插图和其他版权资料的单位和个人表示感谢。感谢 R. R. Guntur 博士审阅了部分原稿。感谢工学院院长 M. C. de Malherbe，机械与航空工程系主任 H. I. H. Saravanamuttoo 教授以及 Carleton 大学很多同事的鼓励和帮助。

黄祖永
于加拿大渥太华
1978 年 7 月

目 录

译者序	
第4版前言	
第3版前言	
第2版前言	
第1版前言	
常用计量单位换算	
专用符号	
绪论	10
第1章 充气轮胎的力学	11
1.1 作用在轮胎上的力和力矩	13
1.2 轮胎的滚动阻力	14
1.3 轮胎的驱动力（或制动力）与纵向滑转率（或滑移率）	19
1.4 轮胎的侧偏特性	27
1.4.1 侧偏角与侧偏力	27
1.4.2 侧偏角与回正力矩	31
1.4.3 外倾角与外倾侧向力	33
1.4.4 轮胎侧偏特性的表征	34
1.5 轮胎在潮湿路面上的工作特性	48
1.6 轮胎的行驶平顺性（振动特性）	53
参考文献	61
习题	62
第2章 车辆-地面相互作用力学——地面力学	64
2.1 车辆载荷作用下地面的应力分布	64
2.2 塑性平衡理论在车辆-地面相互作用力学中的应用	70
2.3 预测越野车辆性能的经验方法	82
2.3.1 基于圆锥指数的经验方法	82
2.3.2 基于最大压力的经验方法	87
2.4 地面响应的测量和表征	88
2.4.1 压强-沉陷量关系的表征	90
2.4.2 对重复性负载响应的表征	95
2.4.3 剪切应力-剪切位移关系的表征	96
2.5 用于分析履带车辆性能的一种简化方法	102
2.5.1 履带的行驶阻力	102
2.5.2 履带的驱动力和滑转率	104
2.6 评价装配有柔性履带的车辆性能的计算机辅助方法	108
2.6.1 预测履带下方法向压力分布的方法	109
2.6.2 预测履带下方剪切应力分布的方法	110
2.6.3 以履带滑转率的函数形式来预测运动阻力和牵引力	112
2.6.4 实验验证	113
2.6.5 参数化分析与设计优化的应用	113
2.7 用于评价长节距链节式履带车辆性能的计算机辅助方法	120
2.7.1 基本方法	120
2.7.2 实验验证	120
2.7.3 参数化分析与设计优化的应用	122
2.8 车轮越野性能的参数化分析方法	124
2.8.1 刚性车轮的行驶阻力	124
2.8.2 充气轮胎的行驶阻力	126
2.8.3 车轮的驱动力与滑转率	131
2.9 一种用于评价轮式越野车辆性能的计算机辅助方法	134
2.9.1 基本方法	134



2.9.2 实验验证	134	第5章 道路车辆的操控特性	235
2.9.3 应用到参数化分析	134	5.1 转向几何	235
2.10 用于研究车辆-地面相互作用的 有限元和离散元方法	136	5.2 两轴式车辆的稳态操控特性	237
2.10.1 有限元方法	136	5.2.1 准确转向	239
2.10.2 离散元方法	138	5.2.2 不足转向	240
参考文献	140	5.2.3 过度转向	240
习题	144	5.3 转向输入的稳态响应	243
第3章 道路车辆的工作特性	146	5.3.1 横摆角速度响应	244
3.1 运动方程和最大驱动力	146	5.3.2 侧向加速度响应	245
3.2 空气动力学作用力和作用力矩	149	5.3.3 曲率响应	246
3.3 车辆动力装置和传动系统特性	160	5.4 操控特性试验	247
3.3.1 内燃机	160	5.4.1 等半径试验	247
3.3.2 电力驱动	166	5.4.2 等车速试验	247
3.3.3 混合动力	168	5.4.3 等转向角试验	248
3.3.4 燃料电池	171	5.5 瞬时响应特性	249
3.3.5 传动系统特性	173	5.6 行驶方向稳定性	252
3.4 车辆工作特性的预测	182	5.6.1 行驶方向稳定性准则	252
3.4.1 加速时间和加速距离	183	5.6.2 车辆稳定性控制	254
3.4.2 爬坡能力	185	5.7 牵引式半挂车的稳态操控特性	259
3.5 工作燃油经济性	185	5.8 铰接式道路车辆行驶方向行为的仿真 模型	262
3.6 发动机与传动系统的匹配	189	参考文献	266
3.7 制动特性	191	习题	268
3.7.1 两轴式车辆的制动特性	191	第6章 履带式车辆的转向	269
3.7.2 制动效率和制动距离	196	6.1 滑移转向运动学的简化分析	270
3.7.3 牵引式半挂车的制动特性	198	6.2 滑移转向的运动学	273
3.7.4 防抱死制动系统	201	6.3 高速时的滑移转向	274
3.7.5 牵引力控制系统	205	6.4 硬地面上滑移转向的通用理论	276
参考文献	205	6.4.1 履带-地面交界处的剪切变形	277
习题	208	6.4.2 稳态转向时的运动学	280
第4章 越野车辆的工作特性	210	6.4.3 实验验证	283
4.1 牵引性能	210	6.4.4 横向阻力系数	285
4.1.1 牵引力和牵引功率	210	6.5 滑移转向的功率消耗	287
4.1.2 牵引效率	212	6.6 履带车辆的转向机构	288
4.1.3 四轮驱动	215	6.6.1 离合器/制动器转向系统	288
4.1.4 牵引力系数	222	6.6.2 受控差动转向系统	289
4.1.5 越野车辆的重量-功率比	223	6.6.3 行星齿轮转向系统	290
4.2 越野行驶时的燃油经济性	223	6.7 铰接式转向	291
4.3 运输生产率和运输效率	225	参考文献	294
4.4 机动性地图和机动性分布	226	习题	294
4.5 越野行驶中车辆构型的选择	228	第7章 车辆的行驶平顺性	296
参考文献	233	7.1 人体对振动的响应	296
习题	234		



7.1.1 国际标准 ISO 2631—1: 1985	298	7.4 主动悬架和半主动悬架	327
7.1.2 国际标准 ISO 2631—1: 1997	299	参考文献	331
7.2 车辆振动模型	305	习题	332
7.2.1 悬架质量和非悬架质量的两 自由度车辆模型	307	第 8 章 气垫车辆简介	334
7.2.2 确定 1/4 车辆模型在不规则地表 轮廓激励下响应的数值方法	314	8.1 气垫系统及其工作特性	334
7.2.3 纵向角振动和垂直振动的两自由度 车辆模型	315	8.1.1 通气室	334
7.3 随机振动简介	320	8.1.2 周边喷管	338
7.3.1 用随机函数表示地表高程轮廓 ..	320	8.2 气垫车辆的阻力	340
7.3.2 频率响应函数	325	8.3 气垫系统的悬架特性	348
7.3.3 与乘坐舒适性指标相关的车辆 振动评价	326	8.3.1 起伏刚度/垂直刚度	348
		8.3.2 侧倾刚度	350
		8.4 气垫车辆的方向控制	351
		参考文献	353
		习题	354

常用计量单位换算

物理量	英制单位	单位换算
加速度	ft/s ²	0.3048m/s ²
面积	ft ²	0.0929m ²
	in ²	645.2 mm ²
能量	ft · lbf	1.356J
力	lbf	4.448N
长度	ft	0.3048m
	in	25.4mm
	mile	1.609km
质量	slug	14.59kg
	ton	907.2kg
力矩	lbf · ft	1.356N · m
功率	hp	745.7W
压强或压力	lbf/ft ²	47.88Pa
	lbf/in ² (psi)	6.895kPa
速度	ft/s	0.3048m/s
	mile/h (mph)	1.609km/h
容积	ft ³	0.02832m ³
	in ³	16.39cm ³
	gal(liquids)	3.785L

专用符号

符号	英 文	中文 翻译
A	area, contact area	面积, 接触面积
A_c	cushion area	气垫面积
A_f	frontal area	迎风面积, 正面面积
A_u	parameter characterizing terrain response to repetitive loading	用于表征重复性载荷下地面响应的参数
a	acceleration	加速度
a_x	acceleration component along the x axis	沿 x 轴的加速度分量
a_y	acceleration component along the y axis	沿 y 轴的加速度分量
a_z	acceleration component along the z axis	沿 z 轴的加速度分量
B	tread of the vehicle (transverse distance between left and right side wheels on an axle)	车辆轮距(同一车轴上左右两侧轮子之间的横向距离)
B_a	barometric pressure	大气压强
B_m	working width of machinery	机械设备工作宽度
B_o	barometric pressure under reference atmospheric conditions	参考情形下的大气压强
B_v	vapor pressure	蒸气压力
b	width	宽度
C, CI	cone index	圆锥指数
C_D	aerodynamic resistance (drag) coefficient	空气动力学阻力系数, 风阻系数
C_f	ratio of braking effort to normal load of vehicle front axle	车辆前轴的制动力与垂直载荷之比
C_l	longitudinal stiffness of tire subject to a driving torque	轮胎在驱动力矩下的纵向刚度
C_L	aerodynamic lift coefficient	空气动力学升力系数
C_{ld}	lift/drag ratio	升力/阻力之比
C_M	aerodynamic pitching moment coefficient	空气动力学俯仰力矩系数
C_r	ratio of braking effort to normal load of vehicle rear axle	车辆后轴的制动力与垂直载荷之比
C_{ro}	restoring moment coefficient	恢复力矩系数
C_s	longitudinal stiffness of tire during braking	轮胎在制动时的纵向刚度
C_{se}	ratio of braking effort tonormal load of semitrailer axle	作用在半挂车轴上的制动力与垂直载荷之比
C_{sk}	coefficient of skirt contact drag	围裙接地阻力系数
C_{sp}	coefficient of power spectral density function	功率谱密度函数系数
C_{sr}	speed ratio of torque converter	变矩器的速度比
C_{tr}	torque ratio of torque converter	变矩器的转矩比
C_α	cornering stiffness of tire	轮胎的侧偏刚度
$C_{\alpha f}$	cornering stiffness of front tire	前轮轮胎的侧偏刚度
$C_{\alpha r}$	cornering stiffness of rear tire	后轮轮胎的侧偏刚度
$C_{\alpha s}$	cornering stiffness of semitrailer tire	半挂车轮胎的侧偏刚度
C_γ	camber stiffness of tire	轮胎外侧侧偏刚度
c	Cohesion	内聚力
c_a	Adhesion	黏附力



(续)

符号	英 文	中文 翻译
c_{eq}	equivalent damping coefficient	等效阻尼系数
c_{sh}	damping coefficient of shock absorber	减振器阻尼系数
c_t	damping coefficient of tire	轮胎阻尼系数
D	Diameter	直径
D_c	discharge coefficient	流量系数
D_h	hydraulic diameter	水力半径
E	Energy	能量
E_d	energy available at vehicle drawbar hitch	车辆牵引挂钩上的可用能量
F	force, thrust, tractive effort	力, 驱动力
F_b	braking force	制动力
F_{bf}	braking force of vehicle front axle	车辆前轴上的制动力
F_{br}	braking force of vehicle rear axle	车辆后轴上的制动力
F_{bs}	braking force of semitrailer axle	半挂车轴上的制动力
F_{cu}	lift generated by air cushion	气垫产生的升力
F_d	drawbar pull	牵引力
F_f	thrust of vehicle front axle	车辆前轴驱动力
F_h	hydrodynamic force acting on a tire over flooded surfaces	在积水地面上行驶时作用在轮胎上的流体动力作用力
F_{hi}	horizontal force acting at the hitch point of a tractor - semi-trailer	作用在牵引式半挂车牵引点上的水平力
F_i	thrust of the inside track of a tracked vehicle	履带车辆内侧履带推力
F_l	lift generated by the change of momentum of an air jet	空气喷管动量变化而产生的升力
F_{net}	net thrust	净推力
F_o	thrust of the outside track of a tracked vehicle	履带车辆的外侧履带推力
F_p	resultant force due to passive earth pressure	被动土压力合力
F_{pn}	normal component of the resultant force due to passive earth pressure	被动土压力合力的法向分力
F_r	thrust of vehicle rear axle	车辆后轴驱动力
F_s	side force	侧向力
F_x	force component along the x axis	沿 x 轴的分力
F_y	force component along the y axis	沿 y 轴的分力
F_{yf}	cornering force of front tire	前部轮胎侧偏力
F_{yr}	cornering force of rear tire	后部轮胎侧偏力
$F_{y\alpha}$	cornering force of tire	轮胎侧偏力
$F_{y\gamma}$	camber thrust of tire	轮胎的外倾侧向力
F_z	force component along the z axis	沿 z 轴的分力
F	Frequency	频率
f_c	center frequency	中心频率
f_{eq}	equivalent coefficient of motion resistance	等效运动阻力系数
f_{n-s}	natural frequency of sprung mass	悬架质量的自然频率
f_{n-us}	natural frequency of unsprung mass	非悬架质量的自然频率
f_r	coefficient of rolling resistance	滚动阻力系数