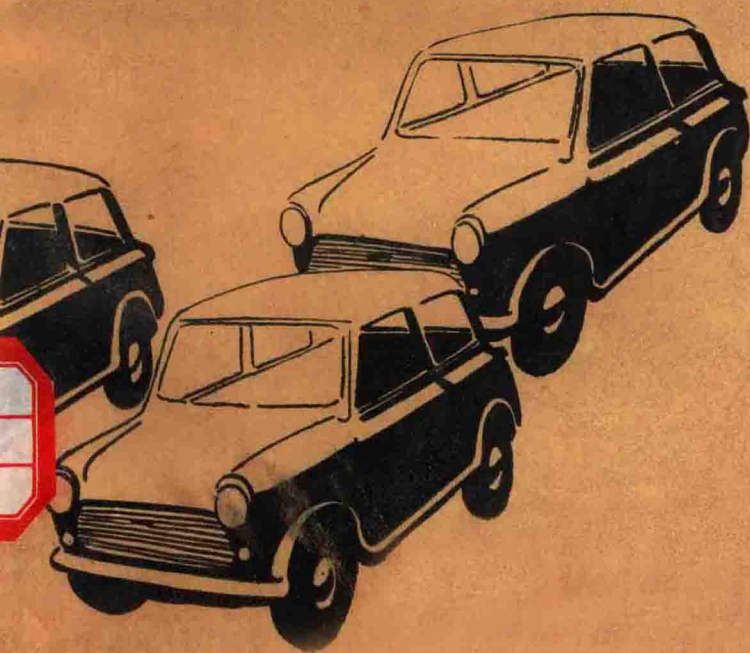


地面车辆理论

〔加拿大〕王若云 著

张声涛 译 韩哲 安林 校

黑龙江科学技术出版社



地面车辆理论

〔加拿大〕 王若云 著

张 声 涛 译

韩 哲 安 林 校

黑龙江科学技术出版社

一九八七年·哈尔滨

内 容 提 要

本书主要阐述无轨地面车辆(公路车辆、越野车辆和气垫车辆)的理论。从分析和评定车辆的工作特性、操纵特性以及平顺性的过程中,突出介绍基础理论的发展和车辆系统设计的原理。

本书可供大专院校有关专业学生和研究生学习,亦可供有关工程技术人员和科研人员参考。

封面设计:顾灵选

地面车辆理论

[加拿大] 王若云 著

张声涛 译

韩哲安 林校

黑龙江科学技术出版社出版

(哈尔滨市南岗区建设街35号)

黑龙江新华印刷厂附属厂印刷·黑龙江省新华书店发行

787×1092毫米32开本12.75印张 254千字

1987年2月第1版·1987年2月第1次印刷

印数:1—600册

书号: 15217·222 定价:2.65元

序

当代社会对提高运输效能和安全性、环境保护以及节能的要求,已经在运输技术发展中引起新的关注。现今在北美和其他地区,运输技术已经成为越来越多的工科院校为研究生和在校大学生所开设的学科。我在加灵顿大学,教授了两门关于地面运输技术课程。在准备讲义时,我发现虽然在研究报告和各学术界有关的杂志中,在此方面多有论述,但都不很全面,不适于用作大学教材。我希望这本书将填补这个空白。

虽然这本书主要作为高年级大学生和刚入学的研究生研究地面车辆之用,但它对从事此项工作的工程师和科研工作者说来亦有参考价值。本书主要阐述无轨地面车辆(包括公路车辆、越野车辆和气垫车辆)的理论和工程原理,也包括了工作特性、操纵特性以及平顺性的分析和评定等内容。本书强调基础理论发展和车辆系统设计的一些基本原理,亦着重研究各类地面车辆特性分析的统一方法。

本书由八章组成。第一章论述充气轮胎的力学,为研究公路车辆特性提供基础。第二章探讨车辆行走部分和地面土壤的相互作用。它对评定越野车辆性能是必不可少的。懂得车辆和地面之间的相互作用,对研究车辆工作特性、操纵特性和平顺性很重要。因为除空气阻力所造成的消耗之外,几乎其它所有影响地面车辆运动的力和力矩都是作用在行走部分与地面接触上。第三章讨论了道路车辆性能的分析 and 预

测，具体内容包括：车辆动力装置及传动特性、性能限度、加速特性、制动性能和燃油经济性。第四章研究越野车辆的性能。它讨论了挂钩牵引性能、牵引效率、行驶燃油经济性、运输生产率和效率机动性地图和机动区域分布。第五章探讨公路车辆的操纵特性（包括转向稳态和瞬间响应及方向稳定性）。第六章论述履带车辆的转向问题（包括履带式车辆滑移转向的力学、转向能力和扭腰转向）。第七章讨论车辆的平顺性：人员对振动的响应，车辆平顺性模型以及车辆振动分析随机过程理论的应用。除了常规的公路和越野车辆之外，气垫车辆已经发展并应用于地面运输。第八章论述气垫系统的基本技术原理和气垫车辆的独特特征。

因为本书是供学生使用的教材，涉及面较广，但又不可能过于详尽。尽管如此，它还是能够给读者在地面车辆理论方面提供一些综合性基础知识的。

在加灵顿大学，我在教学中曾使用了本书部分内容。此外，我还利用本书部分内容作过几次专题讲座。在加拿大和瑞典，我曾与 M.G.培克(Bekker)博士（原在加利福尼亚的一家通用汽车公司某一实验室工作）一起作过题为“路面与车辆系统分析”的讲座。在加灵顿大学我还与 J.R.埃利斯(Ellis)教授和 R.R.冈特(Guntur)博士合作，作过题为“商业用重型车辆的制动和操纵”的讲座。

在写作本书过程中，在与工业部门、研究组织和大学的许多同事的合作研究中，我收益不浅。我特别要感谢英国的纽卡斯尔(Newcastle)大学 A.R.里斯(Reece)博士、M.G.培克博士和 J.R.埃利斯教授对我的鼓励和支持。

对各章后所列参考文献的作者及许多组织和个人允许我翻印图例和其他版权所有的资料，我深表谢意。

R.R.冈特博士校阅了本书部分手稿；加灵顿大学工学院M.C.玛尔罕必(Malherbe)院长、机械和航空工程系主任H.I.H.撒拉弗那米托(Saravanamuttoo)教授和许多同事都给予了很多鼓励，在此一并致谢。

王若云(Jo Yung Wong)

于加拿大渥太华 1978年7月

译者序

本书作者王若云教授是加拿大安大略省渥太华加灵顿大学机械与航空工程系运输技术研究实验室主任。本书是他本人和西欧北美有关学者围绕地面车辆理论领域取得研究成果的系统概括和总结。

在我国建国初期，丁珂等人系统译出〔苏联〕曲达可夫(Е.А.Чудаков)的《汽车理论》、李沃夫(Е.Д.Львов)的《拖拉机理论》、格鲁兹吉夫等(Е.А.Груздеф)的《坦克理论》、安东诺夫(А.С.Антонов)的《履带行驶原理》等一系列地面车辆理论著作，基本上满足了当时高等学校的需要；六十年代先后译出〔美国〕国防部陆用车辆实验室负责人、车辆越野性专家培克氏(M.G.Bekker)的《陆用车辆行驶原理》、《越野行驶》和《地面—车辆系统导论》等书。补充了苏联书籍当年的局限。但系统应用于车辆基础理论的发展和车辆的系统设计，则还是本书进行了一次有益的尝试。

本书于七十年代末期间问世。书中除阐述作者和培克博士的研究成果外，还较全面系统地综述了〔加拿大〕埃利斯(J.R.Ellis)教授、冈特(R.R.Guntur)博士、〔美国〕克拉克(S.K.Clark)、〔英国〕里斯(A.R.Reece)博士、高夫(V.E.Gough)和〔瑞典〕罗兰特(D.R.owland)等北美与西欧学者的成就。在此基础上提出轮胎坐标轴系、滚动阻力各影响因素、侧偏特性、平顺性；压力沉陷特性、平均最大压力、土壤承压应力集中系数、支承能力系数；转向稳态操纵特性和瞬态

响应特性；车辆振动的评价；气垫车辆悬置特性、各种阻力特性……等一系列新概念和特性，并附有相应的实验数据，可以用于车辆系统设计中进行计算和取值。尤其第七章中车辆振动与人的影响和第八章气垫车辆介绍则是以前车辆理论尚未涉及的新领域，起了引导和入门的作用。

本书在资料引用、理论论证、系统推演等方面还不够那样严谨。但对我们来说，本书毕竟涉及面广，内容丰富，概念新颖，有参考价值，不失为一本好书。

本书初稿译成后，由汽车研究所高级工程师严机同志审阅，并对统一汽车名词术语、燃油经济性中的排档和主减速比的选择（178页）提出了具体意见。

借此机会，对参与本书审校的诸同志表示衷心感谢。

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

译者

引 言

地面车辆与飞机、船舶相比大不相同，它是用地面支撑的车辆，而飞机和船舶是用空气和水支撑。地面车辆可分成有轨和无轨两大类。有轨地面车辆都沿一条固定线路(轨道)运动(诸如铁路车辆和悬浮在导轨上的车辆)。无轨地面车辆可选择各种方向在地面上运动(诸如公路车辆和越野车辆)。本书研讨的就是无轨地面车辆的力学。研究地面车辆力学的主要宗旨是为了向车辆的合理研制、设计、评定提供指导性的原则，以便适应在使用上的各种需要。

总的说来，地面车辆特性可以按照它的工作特性、操纵稳定性和平顺性来表示。工作特性包括车辆的加速、牵引力、克服障碍和减速的能力。操纵稳定性是车辆对驾驶员控制的响应和抵抗外界扰动以稳定它的行驶方向的能力。平顺性是关于因为路面凹凸不平而使车辆引起振动以及它对乘客和货物的影响。地面车辆理论就是研究各种行驶环境下车辆的性能、操纵稳定性、平顺性及它们与地面车辆设计的关系。

地面车辆特性显示出司机、车辆和环境(如下图所示)之间相互作用的结果。因此，了解司机一人、车辆特性、地面物理和几何性质对地面车辆系统的设计和评定是必不可少的。

视觉和其他输入

地面条件



目 录

第一章 充气轮胎的力学.....(1)

第一节 轮胎的力系和力矩系.....(4)

第二节 轮胎的滚动阻力.....(6)

第三节 牵引(或制动)力和轮胎纵向滑转 的关系.....(13)

第四节 轮胎的侧向特性.....(23)

一、侧滑角与侧向力.....(23)

二、外倾和外倾推力.....(37)

第五节 轮胎在潮湿路面上的性能.....(40)

第六节 轮胎的平顺性.....(46)

参考文献.....(56)

习 题.....(59)

第二章 车辆——地面相互作用的力学——土 壤力学.....(61)

第一节 车辆负荷作用下土壤中应力的分布.....(62)

第二节 塑性平衡理论在车辆——地面相互 作用的力学中的应用.....(70)

第三节 测定土壤特性值的技术.....(90)

一、负荷——沉陷关系.....(91)

二、剪切应力——位移关系.....(96)

第四节 预测车辆行走部分在未整修地面上.....(99)

性能的半经验方法.....	(104)
一、刚性车轮的运动阻力.....	(104)
二、充气轮胎的运动阻力.....	(109)
三、履带的运动阻力.....	(115)
四、履带的牵引力和滑转.....	(119)
五、车轮的牵引力和滑转.....	(128)
参考文献.....	(134)
习 题.....	(137)
第三章 公路车辆的工作特性	(139)
第一节 运动方程和最大牵引力.....	(139)
第二节 空气动力学的力系和力矩系.....	(146)
第三节 车辆的动力装置和传动特性.....	(151)
一、动力装置特性.....	(152)
二、传动特性.....	(157)
第四节 车辆性能的预测.....	(170)
一、加速时间和距离.....	(171)
二、爬坡能力.....	(174)
第五节 行驶燃油经济性.....	(175)
第六节 制动性能.....	(179)
一、双轴车辆的制动性能.....	(179)
二、制动效率和停车距离.....	(191)
三、牵引车——半拖车的制动性能.....	(194)
四、防抱死制动系统.....	(200)
参考文献.....	(203)
习 题.....	(205)

第四章 越野车辆的工作特性	(208)
第一节 挂钩牵引性能	(209)
一、挂钩牵引力和挂钩牵引功率.....	(209)
二、牵引效率.....	(214)
三、牵引系数.....	(223)
四、越野车辆的重量/功率比.....	(223)
第二节 越野行驶的燃油经济性	(225)
第三节 运输生产率和运输效率	(228)
第四节 机动性地图和机动性分布图	(230)
第五节 越野行驶车辆构造形式的选择	(233)
参考文献	(237)
习 题	(238)
第五章 公路车辆的操纵稳定性	(240)
第一节 转向几何	(241)
第二节 稳态操纵特性	(245)
一、中性转向.....	(248)
二、不足转向.....	(250)
三、过度转向.....	(151)
第三节 转向输入的稳态响应	(255)
一、偏转角速度响应.....	(255)
二、横向加速度响应.....	(257)
三、曲率响应.....	(258)
第四节 操纵稳定性试验	(261)
一、定半径试验.....	(262)
二、定速度试验.....	(263)

(802) 三、定转向角试验	(265)
(802) 第五节 瞬态响应特性	(266)
(802) 第六节 方向稳定性	(271)
(812) 参考文献	(275)
(822) 习 题	(276)
(822) 第六章 履带式车辆的转向	(277)
(822) 第一节 滑移转向的动力学	(279)
(822) 第二节 滑移转向的运动学	(285)
(822) 第三节 高速滑移转向	(287)
(822) 第四节 滑移转向的功率消耗	(292)
(822) 第五节 履带式车辆的转向机构	(293)
(822) 一、离合制动转向系统	(293)
(822) 二、可控差速器转向系统	(294)
(822) 三、行星转向系统	(296)
(822) 第六节 扭腰转向	(298)
(822) 参考文献	(301)
(822) 习 题	(302)
(822) 第七章 车辆的平顺性	(304)
(822) 第一节 人对振动的响应	(304)
(822) 第二节 车辆平顺性模型	(309)
(822) 一、悬架和非悬架质量的二自由度车辆模型	(311)
(822) 二、纵摆和跳动的二自由度车辆模型	(314)
(822) 第三节 随机振动介绍	(321)
(822) 一、作为随机函数的道路截面	(321)
(822) 二、频率响应函数	(327)

三、与平顺舒适性标准有关的车辆

振动的评价..... (330)

参考文献..... (332)

习 题..... (333)

第八章 气垫车辆介绍..... (335)

第一节 气垫系统及其特性..... (335)

一、压力室..... (335)

二、周边喷嘴..... (344)

第二节 气垫车辆的阻力..... (348)

一、动量阻力..... (348)

二、纵倾阻力..... (340)

三、裙边接触阻力..... (350)

四、总陆上阻力..... (352)

五、兴波阻力..... (356)

六、湿溅阻力..... (358)

七、由波浪引起的阻力..... (359)

八、总水上阻力..... (359)

第三节 气垫系统的悬置特性..... (361)

一、升降(或跳动)刚性..... (662)

二、侧倾刚性..... (365)

第四节 气垫车辆的方向控制..... (369)

参考文献..... (373)

习 题..... (375)

术语表..... (377)

第一章 充气轮胎的力学

除了空气阻力和重力之外，几乎所有其他对地面车辆运动起作用的力都通过行走系统与地面的接触点。因此，懂得行走系统与地面之间相互作用的基本特性对研究地面车辆的工作特性、操纵稳定性和平顺性是必不可少的。

一般地说，地面车辆的行走系统必须完成下列功能：

- (1) 支承车重；
- (2) 在不平地面上缓冲车辆；
- (3) 提供驱动和制动用的足够附着力；
- (4) 提供适当的转向控制和方向稳定性。

由于充气轮胎能有效地完成上述功能，因而它们专门用于公路车辆，而且也广泛地用于越野车辆。研究充气轮胎的力学对理解地面车辆的性能和特性至关重要。充气轮胎的力学中两个基本类型的问题对车辆工程师特别重要。其一是轮胎在硬质路面上的力学，它对研究公路车辆特性必不可少。另一个是轮胎在可变形地面（未整修地面）的力学，它对研究越野车辆的性能至关重要。

本章论述轮胎在硬质地面上的力学。第二章探讨轮胎在未整修地面上的力学。

充气轮胎是充以空气的环状结构。轮胎最重要的元件是胎体，它是由多层高弹性模量的软线帘布嵌入到低弹性模量

的橡胶基体中而做成的。胎体的设计与结构在很大程度上决定了轮胎的特性。在轮胎的许多不同设计参数中,帘布的方向对轮胎特性起重要作用,帘布的方向通常由胎冠角来限定;如图 1—1 所示,胎冠角是帘布与轮胎环状中心线之间的夹角。当帘布具有小胎冠角时,轮胎就具有优良的横向特性,但平顺性较差。如果帘布与轮胎周边成直角,则轮胎能够提供优良的平顺性,但也会使横向特性变坏。

普通的斜交轮胎采取适当的折衷方案,胎冠角约为 40° 、且有双层或多层帘布。通常,相邻两层帘布反方向交叉,帘布叠成菱形样式。车辆轮胎这样交叉重叠在行驶中产生变形和摩擦,拉长了菱形体和橡胶充填物。上述变形作用,在外胎与道路之间产生一种擦拭运动,它是轮胎磨损和滚动阻力增大的主要原因之一〔1—1, 1—2〕*。

近来,已生产出和斜交轮胎结构很不相同的子午线轮胎,并且已成功大量使用。子午线轮胎胎面中的帘布如图 1—1 所示的那样,排列成径向互成 90° 的胎冠角。由数层高弹性模量帘布组成的缓冲层置于胎面与胎体之间,如图 1—1 所示那样叠成约 20° 的小胎冠角。这种缓冲层对子午线轮胎的独特功能是必不可少的。如果没有它,子午线胎体会变得不稳定,这是因为,由于帘线间隙不规则,充气时轮胎周边会出现一系列皱纹。对于子午线轮胎说来,胎体变形只会引起构成缓冲层的帘布发生很小的相对运动。轮胎与道路间既然没有擦拭运动,那么在相同条件下,子午线轮胎的功率损耗能

*括号内数码表示章末参考文献序号。——译者注