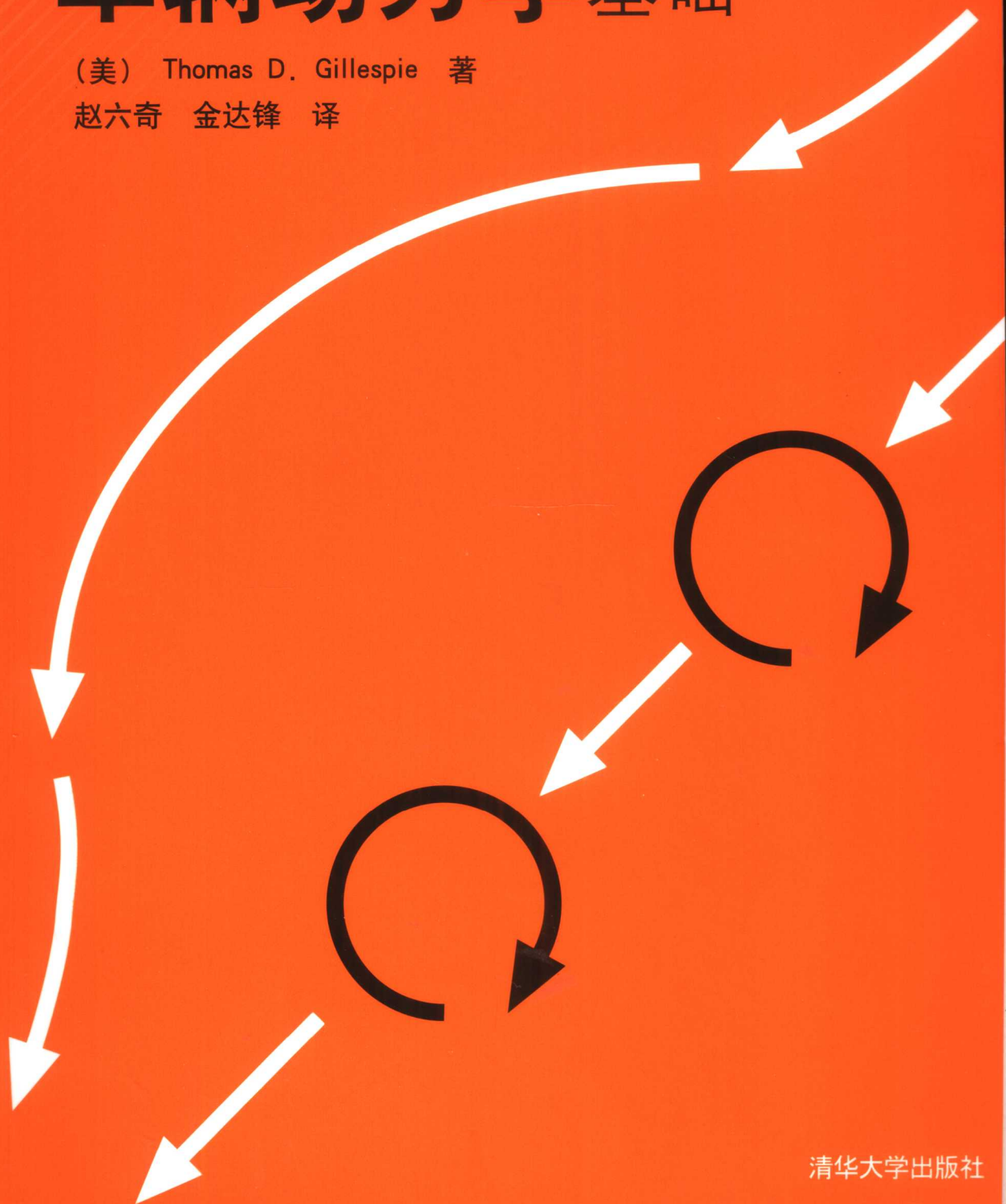


车辆动力学基础

(美) Thomas D. Gillespie 著

赵六奇 金达锋 译



清华大学出版社

车辆动力学基础

(美) Thomas D. Gillespie 著

赵六奇 金达锋 译

清华大学出版社

北京

Thomas D. Gillespie

Fundamentals of Vehicle Dynamics

EISBN:1560911999

Copyright © 2000 by Society of Automotive Engineers, Inc.

Authorized Simplified Chinese translation edition, by Scientific & Technical Publishing Co., is published by Tsinghua University Press, 2006. Authorized translation of the original English edition, 2000 Scientific & Technical Publishing Co., the owner of all rights to publish and sell the same.

All rights reserved including the rights of reproduction in whole or in part in any form.

本书之英文原版由 Society of Automotive Engineers, Inc. 于 2000 年出版。

本中文简体翻译版由 Scientific & Technical Publishing Co. 授权清华大学出版社于 2006 年出版。此翻译版的出版和销售得到出版权和销售权的所有者——Scientific & Technical Publishing Co. 的许可。

版权所有, 未经书面许可, 本书的任何部分和全部不得以任何形式复制。

北京市版权局著作权合同登记号 图字: 01-2003-5402

版权所有, 侵权必究。侵权举报电话: 010-62782989 13501256678 13801310933

图书在版编目(CIP)数据

车辆动力学基础/(美)格里斯比(Gillespie, T. D.)著;赵六奇,金达锋译. —北京:清华大学出版社, 2006.12

书名原文: Fundamentals of Vehicle Dynamics

ISBN 7-302-13786-2

I. 车… II. ①吉… ②赵… ③金… III. 汽车—动力学 IV. U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 109590 号

责任编辑: 杨 倩

责任校对: 焦丽丽

责任印制: 何 芊

出版发行: 清华大学出版社

地 址: 北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编: 100084

c-service@tup.tsinghua.edu.cn

社 总 机: 010-62770175

邮购热线: 010-62786544

投稿咨询: 010-62772015

客户服务: 010-62776969

印 刷 者: 清华大学印刷厂

装 订 者: 三河市新茂装订有限公司

经 销: 全国新华书店

开 本: 175×245 印 张: 22.25 字 数: 485 千字

版 次: 2006 年 12 月第 1 版

印 次: 2006 年 12 月第 1 次印刷

印 数: 1~3000

定 价: 45.00 元

本书如存在文字不清、漏印、缺页、倒页、脱页等印装质量问题,请与清华大学出版社出版部联系调换。联系电话: 010-62770177 转 3103 产品编号: 009298-01

译者序

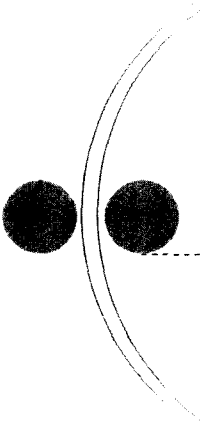
汽车动力学是汽车基本性能和汽车各系统综合集成的基础理论,《车辆动力学基础》是美国密执安大学 Gillespie T. D. 教授的一部内容系统丰富,较全面地介绍车辆动力学发展,引用大量相关文献内容的 SAE 丛书,在美国一些大学将此书作为汽车方向的研究生教学和工程技术人员培训的教材。在我们的“汽车理论”和“汽车动力学”的教学中也把它作为一本主要参考书。将此书译成中文献给读者,得到 Gillespie T. D. 教授的支持,他为此书的中译本写了热情洋溢的序言,并把修订本将要修改的内容提前提供给我们。希望此书的中译版能为我国汽车行业的工程技术人员和汽车专业的学生以及广大汽车爱好者提供一本贴近工程实际、基础性的参考书。

本书由清华大学汽车工程系赵六奇教授和金达锋副教授合作翻译和审校,在此过程中得到清华大学汽车工程系夏群生教授、张扬军教授、危银涛副研究员和研究生奉玮、陈文敏、李蓬和清华大学出版社杨倩编辑的帮助,在此深表感谢。

译者在翻译过程中力求忠实原著和理解本来的含义,但由于译者的水平有限,肯定有错误和不准确之处,恳请广大读者给予指正。

译者
2006 年 5 月

Preface for Chinese Version



It is very much of an honor to have this book translated for the audience in China. I am indebted to Professor Zhao Liuqi and his cooperator for their initiative, their time, and their care in undertaking such a difficult task. My best wishes go to them and to all those who read this book as we all become closer partners in what is a most exciting industry.

Designing a motor vehicle is an exercise in balancing tradeoffs in different performance modes. The suspension that is optimal for ride is not optimal for handling. Likewise, the powertrain that is optimal for acceleration performance is not optimal for fuel economy. The choices we make in designing each of the automotive systems determine the personality of the vehicle, whether it is a truck, an economy car, a luxury car, or a sports car.

This book is intended to provide a basic understanding of each of the systems on a motor vehicle so that informed design decisions can be made to achieve the desired dynamic performance. The content of each chapter is guided by the question: What does an engineer need to know about each system to understand its function? It attempts to describe how each system functions both in narrative form and using equations—the universal language by which we engineers communicate—to quantify relationships between sub-system or component properties and overall performance. Only through a fundamental knowledge of the individual systems is it possible to understand the vehicle as a total system.

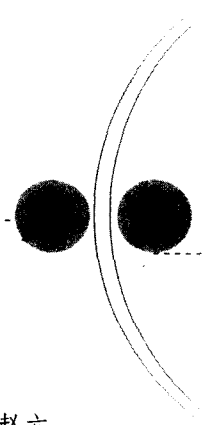
In the past few decades the auto industry has undergone dramatic changes characterized by fast growth, rapid adoption of new technologies, and development of powerful new analytical tools. The ability to simulate vehicle dynamic performance with a high degree of

fidelity, using software like CarSim® or ADAMS®, enables development of automotive products long before hardware is built. Yet due to the complexity of a motor vehicle and the interactions between systems, simulation in the “virtual world” leads to trial and error solutions, unless the underlying functions of each system are well understood. It is hoped that this book contributes to that understanding.

It is often said that we achieve our highest goals by standing on the shoulders of those who have preceded us. That is true as well in the case of this book. Over the years, the automotive industry has been the professional home of many gifted engineers. Although too numerous to list here, I would like to acknowledge and honor their contributions to the understanding of motor vehicles presented in this book.

Thomas D. Gillespie
Ann Arbor, Michigan

中文版



我对于此书能翻译介绍给中国读者深感荣幸。我十分感谢赵六奇教授和他的合作者主动承担了这项艰巨工作并为此付出了时间和精力。我在此谨对他们以及所有此书的读者致以最良好的祝愿。在这个令人振奋的工业里,我们正在日益成为合作伙伴。

汽车设计的关键是平衡不同的性能指标。具有最佳乘适性的悬架不具有最佳的操纵性。同样,具有最佳加速性的传动系统不具有最佳的燃油经济性。我们在设计汽车时所做的选择决定了这款汽车的个性,不论它是货车、经济型轿车、豪华型轿车还是运动型跑车。

此书旨在使读者对汽车上每个系统都有所了解,并由此可以在设计汽车的工作中做出有依据的选择并达到预计的性能。指导此书写作的一个中心问题是:一个工程师需要具备多少关于某个汽车系统的知识才能有效地了解它的功能?此书努力用文字描述与数学公式(即我们工程师的国际通用语言)来介绍每个汽车系统的功能,以便量化各系统或零部件的性能与汽车总体性能之间的关系。

在过去的几十年里,汽车工业经历了巨变——规模迅速增长,新技术被快速采用,功能强大的分析工具(软件)不断被开发出来。运用分析软件,如 CarSim® 或 ADAMS®,可以很真实地模拟汽车的性能,使我们在汽车产品的样品模型尚未制作出来时就可对其进行开发。然而,由于汽车的复杂性以及汽车各系统之间的交互作用,如果对每个汽车系统的工作原理缺乏了解,在“虚拟世界”里进行模拟就只能取得一些尝试性的方案。此书的目的就是增进读者对每个汽车系统的工作原理的了解。

常言道,我们只有站在前人的肩膀上才能达到最高的目标。此书的写作充分印证了这句话。这些年来,汽车工业里汇聚了众多的极具天赋的工程师。由于他们的名字太多,我无法一一列出。但我要对他们在认知汽车方面所做的贡献致以衷心的感谢和敬意。

Thomas D. Gillespie
Ann Arbor, Michigan

作者介绍

Thomas D. Gillespie, Ph. D. , is a Research Professor at the University of Michigan Transportation Research Institute His career has encompassed professional experience at the Pennsylvania State University, PPG Industries, the U. S. Army Corps of Engineers, Ford Motor Company, and the University of Michigan. In the late 1980s he served on the White House staff as a Senior Policy Analyst in the Office of Science and Technology Policy.

Throughout his career Dr. Gillespie has been involved with research on the dynamic behavior of cars and trucks including the relationship to friction and roughness properties at the tire/road interface. He led the World Bank team in the international experiments from which the International Roughness Index was developed as the worldwide standard for characterization of road roughness. For nearly three decades, he has been active in development and testing of methods for simulating vehicle dynamics, and is a co-founder of Mechanical Simulation Corporation in Ann Arbor, Michigan, producers of CarSim® and TruckSim® vehicle dynamics simulation software.

Dr. Gillespie is active in teaching at both the university level and in industry. At the University of Michigan he teaches three courses- Automotive Engineering, Integrated Vehicle Systems Design and a short course on the Mechanics of Heavy-Duty Trucks. His vehicle dynamics course, for which this book was developed, has been delivered at all three major automobile manufacturers in the United States, along with many of the first tier suppliers.

Thomas D. Gillespie 博士是密执安大学交通研究所的教授级研究员。他曾在宾夕法尼亚州立大学、PPG Industries、美国陆军工程兵团、福特汽车公司及密执安大学工作过。在 20 世纪 80 年代后期,他曾担任白宫科技政策办公室的高级政策研究员。

在他的职业生涯中,Gillespie 博士曾经参与过对轿车和货车性能的研究,比如汽车动力性与路面阻力和粗糙度的关系。他带领世界银行的一个小组在世界各地进行试验,并制定了作为国际标准的国际路面粗糙度指数。近 30 年里,他积极参与了对模拟汽车性能的软件的设计和试验。与他人合作创办了位于密执安州安娜堡市,生产 CarSim® 和 TruckSim® 这两种车辆动力学模拟软件的公司。

Gillespie 博士也在大学和工业界中积极从事教学工作。他在密执安大学教授三门课程——汽车工程、汽车系统整体设计,以及有关载重车结构的短期课程。此书就是他用于教授汽车工程这门课程的教材。他曾在美国三大汽车公司和很多首级汽车供应商中讲授这门课程。

英文版前言

纵观人类历史,很少有其他发明能像汽车这样引人关注、令人着迷。进入 20 世纪以来,人们所享有的出行的方便已经成为现代生活方式必不可少的一部分。在汽车出现后的 100 年里,为了满足人们对出行方便的追求,已经有超过十亿辆汽车被制造出来。大量生产的奇迹把汽车价格降低到人们几个月的工资的水平。从更深层次讲,汽车是很多人在人生旅途中某一阶段的钟爱,是他们最重要的兴趣和投资。正如我祖父在早年一首小诗里所表达的:

每天,开着我的“丽兹”,
山高谷低任我驰骋。
虽然简朴无华,
但她始终忠实可靠。

没说的——它就是棒!
——发动机稳稳地待在机罩下,
——挂上倒挡车轮就会倒转,
——只可惜车漆已渐渐褪色。

只要我的牛仔裤兜里有几个钱,
我就不去挤巴士,
我会买辆“轿车”,
手握方向盘,看我有多气派。

——T. N. 格里斯比

人们对汽车的痴迷大多基于汽车的各项性能指标,比如:加速性能、制动性能、转向性能和乘适性。不论是爱好摆弄车的车主、赛车迷,还是汽车工程师,很多人都在参与汽车这门艺术。人们也撰写了大量的书籍、杂志和技术文献来介绍汽车的工程原理、常识法则,甚至

一些提高汽车性能的“旁门诀窍”。赛车圈子里的专业人员所写的汽车方面的书籍大多只涉及一些经验之谈,而缺乏严格的工程分析。汽车工程领域的学者也写过一些教科书,但是这些书大多过于偏重理论分析。本书则介于这两者之间——为了解释汽车的性能,我将介绍一些基础的工程原理和分析方法,这些介绍并不深奥难懂,在讲解一些公式的时候,我尽量采用实例来形象地说明公式所描述的力学性能。由于本书涉及工程原理和公式,主要的读者群体将是工程师,但是我也希望一些非正规工程学历的人也能通过书中的详细解释对大多数工程原理有所了解。

汽车制造企业的研发人员所面临的挑战是如何了解用户对汽车品质的需求,以及如何在产品设计和生产过程中实现用户所需求的品质。近些年来,由于数以百万计的汽车行驶在道路上所带来的对社会和环境的影响,政策法规对汽车产品的管理更加严格。另外,现代汽车企业之间的竞争日益加剧,这些因素都使汽车设计的过程变得更为复杂。汽车制造企业要想在未来的竞争中保持优势,就必须设法提高设计开发过程的效率,从而缩短从概念设计到批量生产的周期。只有更好地了解汽车的整体系统,才能在汽车设计的前期预知汽车的质量和性能,以最低的投入实现设计的调整改进,从而实现企业的经营目标。

加速性能、制动性能、转向性能和乘适性都是最为基本的汽车性能。所以,每个汽车工程师都应该对这些性能有较好的了解。由于车辆的各种运动模式都是基于一套共同的力学原理,车辆在某一运动模式下的性能和其他运动模式是紧密相关的。要将车辆作为一个系统进行了解,就要掌握有关所有运动模式的知识。所有运动模式归根到底都是运动,所以,这门学问被称为车辆动力学。

我写此书的目的有以下几方面。

1. 介绍决定车辆动力学性能的基本力学原理。对于车辆动力学的讨论涵盖纵向运动(加速和制动等运动模式)、乘适性(垂直和俯仰等运动模式),以及操纵性(侧向、横摆和侧倾等运动模式)。我将对车辆的基本系统和子系统进行工程分析,并由此推导出运动方程。从而揭示出哪些车辆特性会对某个运动模式产生影响,并给出预测这个运动模式的方法。通过了解这些方程的推导,读者可以知道运算结果的有效性范围和局限性。

2. 熟悉现有的分析方法。过去的几十年里发展出了可以预测很多汽车性能的分析方法。虽然汽车工程师在日常工作中不一定需要掌握和使用所有这些分析方法,但是知道这些方法的存在可以极大地提高他/她们对于企业的价值。知道这些方法的存在可以使读者知道哪些工作是可以做到的,遇到问题时可以去寻找哪些分析工具来解决。

3. 熟悉相关术语。沟通的清晰准确对于解决问题是至关重要的。多年来,为了便于沟通,人们定义了恰当的汽车工程术语。学习车辆动力学可以给读者提供熟悉这些术语的机会。

Thomas D. Gillespie

致 谢

仅以此书献给我的夫人 Susan 以及我的四个好孩子: Dave, Darren, Devin 和 Jessica。在准备这些资料的日子中,他们表现出的耐心和给予我的鼓励,对于我的著书工作是非常重要的。

我要感谢那些在撰写此书期间提供建议和给予鼓励的车辆动力学业界前辈们,特别是一些为此投入时间和精力的人们,如 Sam Clark, Charles MacAdam, Ray Murphy, James Bernard, Bill Fogarty, Manfred Rumpel, Bill Stewart, Chuck Houser, Don Tandy 以及美国汽车工程师学会的同仁们。

符号说明

a	轮胎侧偏刚度参数
b	轮胎侧偏刚度参数
A	车辆前视面积
A_f	前轴侧向力柔顺转向系数
A_r	后轴侧向力柔顺转向系数
a_x	x 方向加速度
a_y	y 方向加速度
b	前轴到重心的纵向距离
c	后轴到重心的纵向距离
C_a	一个轴上轮胎的侧偏刚度
C'_a	一个轮胎的侧偏刚度
CC_a	轮胎侧偏系数
C_γ	轮胎外倾刚度
C_D	空气阻力系数
C_h	路面滚动阻力系数
C_L	空气动力升力系数
C_{PM}	空气动力俯仰力矩系数
C_{RM}	空气动力侧倾力矩系数
C_{YM}	空气动力横摆力矩系数
C_s	悬架阻尼系数
C_S	空气动力横向力系数
CP	空气动力横向力的压力中心
d	转向轴和轮胎与地面接触中心之间的侧向距离
d_h	车轴至牵引点的距离
d_{ns}	质心至中性转向点的距离
D	轮胎直径
DI	动态指数
D_x	直线的减速度
D_A	空气阻力

e	“等效力矩臂”支点高度
	鼓式制动器几何因数
$E [y^2]$	均方振动响应
f	“等效力矩臂”的纵向长度
f_a	车轮跳动共振频率(垂直)
f_n	悬挂系统无阻尼固有频率(Hz)
f_r	滚动阻力系数
F_b	制动力
	悬挂质量上的垂直干扰力
F_i	轮胎的不平衡力
F_x	x 方向的力(牵引力)
F_{xm}	车轴上的最大制动力
F_{xt}	x 方向的合力
F_y	y 方向的力(侧向力)
	轮轴上的侧向力
F'_y	一个轮胎上的侧向力
F_z	z 方向的力(垂直力)
F_{zi}	转向时内侧轮胎的垂直力
F_{zo}	转向时外侧轮胎的垂直力
F_w	非悬挂质量上的轮胎/车轮不均匀力
g	重力加速度($32.2\text{ft/s}^2, 9.81\text{m/s}^2$)
G	制动增益
G_o	路面不平度幅值的参数
G_z	路面不平度的功率谱密度幅值
G_{zs}	悬挂质量加速度的功率谱密度幅值
h	重心高度
h_a	空气阻力(风压中心)高度
h_h	牵引装置高度
h_l	侧倾轴以上悬挂质量重心的高度
h_r	悬架侧倾中心的高度
h_t	轮胎断面的高度
hp	发动机的制动功率
hp_A	空气动力功率
hp_R	滚动阻力功率
hp_{RL}	道路负载功率
H_v	响应增益函数
I_d	驱动轴的转动惯量

I_e	发动机的转动惯量
I_t	变速器的转动惯量
I_w	车轮的转动惯量
I_{xx}	对 x 轴的转动惯量
I_{yy}	对 y 轴的转动惯量
I_{zz}	对 z 轴的转动惯量
k	回转半径
K	不足转向梯度
K_{at}	由回正力矩产生的不足转向梯度
K_{lt}	由车轴上侧向载荷转移产生的不足转向梯度
K_{lfs}	由侧向力柔顺转向产生的不足转向梯度
K_S	悬架的垂直刚度
K_{SS}	转向系统刚度
K_{strg}	由转向系统所产生的不足转向梯度
K_t	轮胎的垂直刚度
K_ϕ	悬架的侧倾刚度
L	轴距
L_A	空气动力升力
m	鼓式制动器几何参数
M	车辆质量
M_{AT}	轮胎回正力矩绕转向轴产生的力矩
M_L	轮胎侧向力绕转向轴产生的力矩
M_r	转动元件的等效质量
M_{SA}	由前轮驱动的力和力矩对转向轴产生的力矩
M_T	由轮胎牵引力对转向轴产生的力矩
M_V	由轮胎垂直力对转向轴产生的力矩
M_ϕ	侧倾力矩
n	鼓式制动器几何参数
N	法向力
N_t	变速器传动比
N_f	主传动传动比
N_{tf}	变速器和主传动的总传动比
NSP	中性转向点
p	充气轮胎拖距
P_a	制动作用压力/制动力
P_{atm}	大气压力
P_f	前制动压力

P_r	后制动压力
P_s	静态压力
P_t	总压力
PM	空气动力俯仰力矩
p	对车辆 x 轴的侧倾角速度
q	对车辆 y 轴的俯仰角速度
q	动态压力
r	对车辆 z 轴的横摆角速度
r	轮胎的滚动半径
r_k	轮胎与悬架的刚度比
R	转向半径
R_h	拖勾牵引力
R_g	斜坡力
R_x	滚动阻力
R_{RL}	道路负载
RM	空气动力侧倾力矩
RR	轮胎/悬架系统乘适刚度
R_ϕ	悬挂质量的侧倾率
s	悬架弹簧之间的侧向间距
S_A	空气动力横向力
S_o	白噪声谱密度
SD	制动距离
t	胎面
t_s	制动时间
T_a	轮轴扭矩
T_b	制动力矩
T_c	离合器扭矩
T_d	驱动轴扭矩
T_e	发动机扭矩
T_{sf}	前悬架侧倾力矩
T_σ	后悬架侧倾力矩
T_{amb}	环境温度
T_x	绕 x 轴的扭矩
V	向前速度
V_w	环境风速
V_f	制动的最终速度
V_o	制动的初始速度

w	轮胎断面宽度
W	车重
W_a	轴重
W_d	动态载荷转移
W_f	前轴动态重量
W_r	后轴动态重量
W_{rr}	右后轮动态重量
W_{fs}	前轮轴静态重量
W_{rs}	后轮轴静态重量
W_y	轮轴侧向重量转移
x	车辆纵轴的向前方向
y	向车辆右侧的侧向方向
YM	空气动力横摆力矩
z	相对于车辆平面的垂直方向
X	运动的向前方向
Y	运动的侧向方向
Z	运动的垂直方向
	悬挂质量的垂直位移
Z_r	路面断面高度
Z_u	非悬挂质量的垂直位移
α	轮胎侧偏角
α_{cw}	空气动力风角
α_d	驱动轴角加速度
α_e	发动机角加速度
α_w	车轮角加速度
α_x	绕 x 轴的角加速度
β	侧滑角
	万向节转角
	俯仰平面方程式系数
γ	外倾角
	俯仰平面方程式系数
γ_s	相对地面的车轮外倾角
γ_b	相对车体的车轮外倾角
δ	转向角
δ_c	柔顺转向角