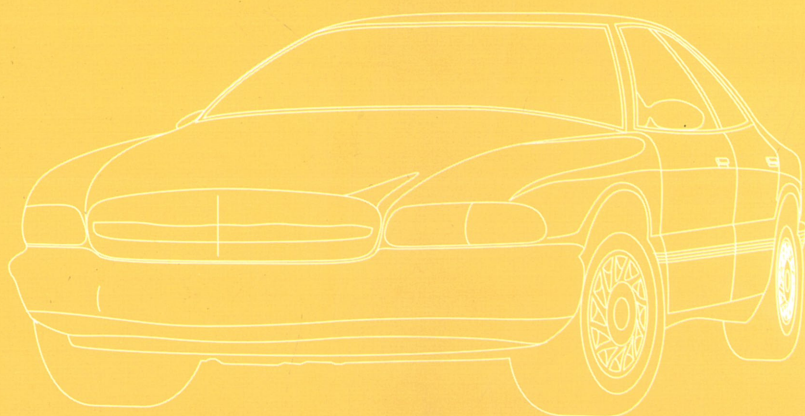




全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材



潘公宇 陈龙 江浩斌 杨晓峰 编著

# 汽车系统动力学基础 及其控制技术

清华大学出版社

全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材

清华大学出版社数字出版网站

WQBook  书文  
周泉

www.wqbook.com

ISBN 978-7-302-45776-3



9 787302 457763 >

定价：39.80元

## 内 容 简 介

本书系统地介绍了汽车动力学的基础理论、相关的现代控制理论的基础知识及其在车辆工程上的应用。汽车动力学的基础理论主要包括汽车的纵向动力学、操纵动力学和垂向动力学的力学分析和建模；现代控制理论的基础知识主要包括状态空间法、线性系统的能控性和能观测性、稳定性、最优控制等；车辆工程上的应用主要包括驱动防滑控制、制动防抱死系统、四轮转向系统、稳定性控制、半主动悬架及主动悬架等。

本书可作为高等学校车辆工程专业、载运工具运用工程等专业研究生教学用书，也可作为车辆工程专业本科生的选修课教材，对从事车辆专业的技术人员有很好的参考价值。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

### 图书在版编目(CIP)数据

汽车系统动力学基础及其控制技术/潘公宇等编著. —北京：清华大学出版社，2017

(全国工程专业学位研究生教育国家级规划教材)

ISBN 978-7-302-45776-3

I. ①汽… II. ①潘… III. ①汽车—系统动力学—研究生—教材 IV. ①U461.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 290558 号

责任编辑：许 龙 赵从棉

封面设计：何凤霞

责任校对：赵丽敏

责任印制：刘海龙

出版发行：清华大学出版社

网 址：<http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座 邮 编：100084

社 总 机：010-62770175 邮 购：010-62786544

投稿与读者服务：010-62776969, [c-service@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈：010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

印 装 者：保定市中画美凯印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm 印 张：16

字 数：388 千字

版 次：2017 年 1 月第 1 版

印 次：2017 年 1 月第 1 次印刷

印 数：1~2000

定 价：39.80 元

---

产品编号：068664-01

|   |    |
|---|----|
| <b>第 1 章 汽车动力学及控制理论概述</b> .....         | 1  |
| 1.1 汽车动力学的研究范围 .....                    | 1  |
| 1.1.1 纵向动力学 .....                       | 2  |
| 1.1.2 操纵动力学 .....                       | 2  |
| 1.1.3 垂向动力学 .....                       | 3  |
| 1.2 汽车动力学的研究方法 .....                    | 4  |
| 1.2.1 经验法和解析法 .....                     | 4  |
| 1.2.2 基本的建模方法 .....                     | 5  |
| 1.3 控制理论的产生与发展 .....                    | 6  |
| 1.4 经典控制理论和现代控制理论 .....                 | 8  |
| <b>第 2 章 现代控制理论基础</b> .....             | 10 |
| 2.1 系统描述及线性系统状态方程的解 .....               | 10 |
| 2.1.1 状态空间表达式 .....                     | 10 |
| 2.1.2 $n \times n$ 系统矩阵 $A$ 的特征值 .....  | 12 |
| 2.1.3 利用 MATLAB 进行系统模型之间的<br>相互转换 ..... | 13 |
| 2.1.4 线性系统状态方程的解 .....                  | 14 |
| 2.2 线性系统的能控性与能观测性分析 .....               | 15 |
| 2.2.1 线性连续系统的能控性 .....                  | 15 |
| 2.2.2 线性连续系统的能观测性 .....                 | 18 |
| 2.3 线性系统的综合与设计 .....                    | 21 |
| 2.3.1 概述 .....                          | 21 |
| 2.3.2 极点配置问题 .....                      | 23 |
| 2.4 状态观测器 .....                         | 28 |
| 2.4.1 全维状态观测器的误差方程 .....                | 30 |
| 2.4.2 对偶问题 .....                        | 30 |
| 2.4.3 可观测条件 .....                       | 31 |
| 2.4.4 全维状态观测器的 Bass-Gura 算法 .....       | 31 |

|              |                              |            |
|--------------|------------------------------|------------|
| 2.4.5        | 最小阶观测器 .....                 | 35         |
| 2.4.6        | 具有最小阶状态观测器的观测-状态反馈控制系统 ..... | 38         |
| 2.5          | 李雅普诺夫(Lyapunov)稳定性分析 .....   | 38         |
| 2.5.1        | Lyapunov 第二法 .....           | 39         |
| 2.5.2        | 线性定常系统的 Lyapunov 稳定性分析 ..... | 42         |
| 2.5.3        | 二次型最优控制 .....                | 44         |
| <b>第 3 章</b> | <b>汽车纵向动力学及其控制 .....</b>     | <b>56</b>  |
| 3.1          | 汽车的驱动力与行驶阻力 .....            | 56         |
| 3.1.1        | 驱动力 .....                    | 56         |
| 3.1.2        | 行驶阻力 .....                   | 58         |
| 3.1.3        | 汽车行驶的驱动-附着条件 .....           | 63         |
| 3.1.4        | 驱动力-行驶阻力平衡 .....             | 64         |
| 3.1.5        | 纵向力与滑动率的关系 .....             | 65         |
| 3.2          | 汽车动力性能及分析 .....              | 68         |
| 3.2.1        | 理想的动力传动特性 .....              | 68         |
| 3.2.2        | 动力传动系统的功能 .....              | 70         |
| 3.2.3        | 现代动力传动系统的种类和组成 .....         | 71         |
| 3.3          | 动力传动系统及驱动力控制 .....           | 74         |
| 3.3.1        | 发动机燃油喷射及电子点火控制 .....         | 75         |
| 3.3.2        | 离合器控制 .....                  | 77         |
| 3.3.3        | 自动变速器控制 .....                | 80         |
| 3.3.4        | 驱动防滑控制 .....                 | 82         |
| 3.4          | 汽车制动性能及其控制 .....             | 88         |
| 3.4.1        | 概述 .....                     | 88         |
| 3.4.2        | 制动动力学分析 .....                | 88         |
| 3.4.3        | 制动稳定性分析 .....                | 90         |
| 3.4.4        | 车轮防抱死控制系统 .....              | 91         |
| <b>第 4 章</b> | <b>汽车操纵动力学及其控制 .....</b>     | <b>110</b> |
| 4.1          | 轮胎的力学特性 .....                | 111        |
| 4.1.1        | 作用在轮胎上的力和力矩 .....            | 111        |
| 4.1.2        | 侧偏角和侧向力特性 .....              | 112        |
| 4.1.3        | 侧偏角与回正力矩特性 .....             | 113        |
| 4.1.4        | 轮胎侧偏特性的简化理论模型 .....          | 114        |
| 4.2          | 操纵动力学的基本模型 .....             | 121        |
| 4.2.1        | 二自由度角输入运动 .....              | 121        |
| 4.2.2        | 二自由度力输入运动 .....              | 129        |
| 4.3          | 基本模型的扩展 .....                | 133        |

|              |                      |            |
|--------------|----------------------|------------|
| 4.3.1        | 线性三自由度角输入操纵运动的数学模型   | 133        |
| 4.3.2        | 线性四自由度力输入运动的数学模型     | 138        |
| 4.4          | 汽车四轮转向系统的控制技术        | 143        |
| 4.4.1        | 四轮转向系统概述             | 143        |
| 4.4.2        | 4WS 汽车模型及转向特性分析      | 148        |
| 4.4.3        | 4WS 汽车系统的最优控制        | 153        |
| 4.5          | 汽车稳定性控制              | 158        |
| 4.5.1        | VSC 的结构及其原理          | 159        |
| 4.5.2        | 汽车稳定性的控制方法           | 161        |
| 4.5.3        | 动力学模型的建立及其仿真         | 165        |
| 4.6          | 汽车助力转向系统             | 172        |
| 4.6.1        | 汽车助力转向系统概述           | 172        |
| 4.6.2        | 转向助力特性的确定            | 174        |
| 4.6.3        | 转向系统的建模              | 176        |
| 4.6.4        | 仿真分析                 | 179        |
| <b>第 5 章</b> | <b>汽车垂向动力学及其控制</b>   | <b>181</b> |
| 5.1          | 人体对振动的反应             | 181        |
| 5.1.1        | 概述                   | 181        |
| 5.1.2        | ISO 2631 标准          | 181        |
| 5.2          | 路面不平度的统计特性           | 185        |
| 5.2.1        | 路面不平度的测量             | 185        |
| 5.2.2        | 路面不平度的功率谱密度          | 187        |
| 5.3          | 路面输入模型               | 188        |
| 5.3.1        | 频域模型                 | 188        |
| 5.3.2        | 时域模型                 | 189        |
| 5.3.3        | 四轮输入时的考虑             | 190        |
| 5.3.4        | 特殊路面的输入              | 190        |
| 5.4          | 汽车车身单自由度系统的振动        | 191        |
| 5.4.1        | 系统的运动方程              | 191        |
| 5.4.2        | 系统的频率响应特性            | 192        |
| 5.5          | 汽车的二自由度振动系统          | 193        |
| 5.5.1        | 汽车车身车轮振动系统的运动方程与振型分析 | 193        |
| 5.5.2        | 车身车轮振动系统的传递特性        | 195        |
| 5.5.3        | 双轴汽车振动模型             | 196        |
| 5.6          | 汽车多自由度振动模型           | 199        |
| 5.6.1        | 汽车车身车轮的四自由度模型        | 199        |
| 5.6.2        | 整车七自由度模型             | 200        |
| 5.6.3        | 扭振系统模型与分析            | 201        |

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| 5.7 汽车半主动悬架及其控制技术 .....         | 205        |
| 5.7.1 概述 .....                  | 205        |
| 5.7.2 半主动的控制策略 .....            | 207        |
| 5.7.3 阻尼可调式阻尼器 .....            | 210        |
| 5.7.4 半主动悬架的性能 .....            | 222        |
| 5.8 主动悬架系统 .....                | 225        |
| 5.8.1 系统模型的建立 .....             | 225        |
| 5.8.2 主动悬架最优控制器设计 .....         | 227        |
| 5.8.3 主动悬架系统的性能 .....           | 229        |
| 5.8.4 液压主动悬架系统 .....            | 233        |
| 5.9 半主动悬架和电动转向集成控制技术 .....      | 239        |
| 5.9.1 半主动悬架和电动转向集成系统模型 .....    | 240        |
| 5.9.2 半主动悬架和电动转向集成系统满意度优化 ..... | 241        |
| 5.9.3 系统动态性能仿真分析和实验 .....       | 242        |
| <b>参考文献</b> .....               | <b>247</b> |