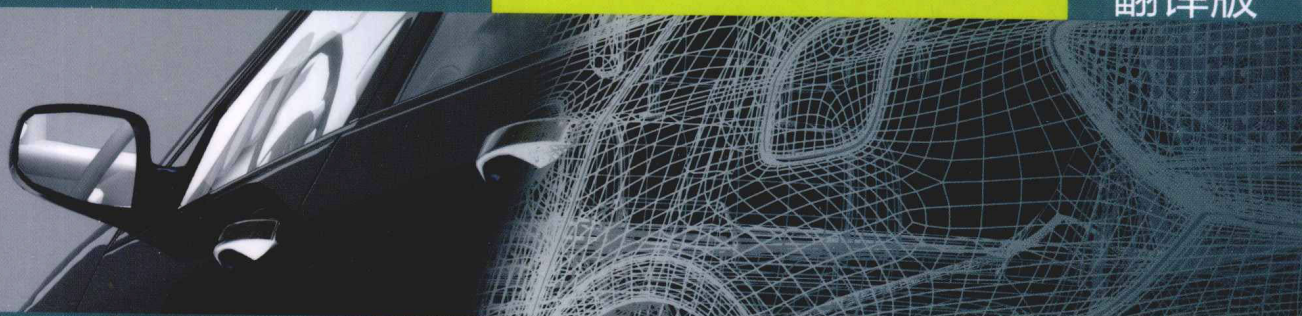


Automotive Control Systems

For Engine, Driveline,
and Vehicle (Second Edition)

翻译版



汽车控制系统:

发动机、传动系和整车控制

第2版

U.Kiencke 著
L.Nielsen

李道飞 俞小莉 译

汽车控制系统： 发动机、传动系和整车控制

QICHE KONGZHI XITONG:
FADONGJI, CHUANDONGXI HE ZHENGCHE KONGZHI

(第2版 翻译版)

Automotive Control Systems For Engine, Driveline, and Vehicle
(Second Edition)



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

图字: 01 - 2009 - 5184 号

Translation from the English language edition:

Automotive Control Systems by Uwe Kiencke and Lars Nielsen

Copyright © Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2005

Springer is part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车控制系统: 发动机、传动系和整车控制: 第2版:
翻译版/(德)金恩科(Kiencke, U.), (瑞典)尼尔森
(Nielsen, L.)著;李道飞,俞小莉译. —北京:高等教育
出版社, 2010. 11

书名原文: Automotive Control Systems: For Engine,
Driveline, and Vehicle

ISBN 978 - 7 - 04 - 030179 - 3

I. ①汽… II. ①金… ②尼… ③李… ④俞…
III. ①汽车 - 控制系统 - 教材 IV. ①U463

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 173579 号

策划编辑	宋 晓	责任编辑	王素霞	封面设计	赵 阳	责任绘图	尹 莉
版式设计	余 杨	责任校对	杨雪莲	责任印制	朱学忠		

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120

经 销 蓝色畅想图书发行有限公司
印 刷 山东省高唐印刷有限责任公司

开 本 787×1092 1/16
印 张 27.25
字 数 670 000

购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
畅想教育 <http://www.widedu.com>

版 次 2010 年 11 月第 1 版
印 次 2010 年 11 月第 1 次印刷
定 价 33.00 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

物料号 30179-00

译者序

未来汽车技术创新主要体现在节能、环保、安全、舒适、智能等方面,这其中 70% ~ 80% 的创新都与汽车电子控制技术相关。在当前国内汽车行业蓬勃发展的形势下,急需汽车电子控制技术方面的相关专业人才。

为此,我们真诚地向国内读者推荐并翻译了这本由德国 U.Kiencke 教授和瑞典 L.Nielsen 教授合著的名作。该书自 2000 年推出第一版后,在欧美高等院校得到迅速推崇,经原作者增补,于 2005 年推出了第二版,至今一直畅销。该书将汽车系统理论与自动控制理论进行有机结合,紧密联系工程实际,内容具体翔实,数学推导严谨,论述清晰而不繁杂。书中的工程应用实例都来自于作者及其团队的一线实战经历,第一作者曾在著名汽车零部件供应商 BOSCH 公司担任重要职务,主持 CAN 总线的开发,而且两位作者曾先后担任国际自动控制联合会“汽车控制技术委员会”主席。因此,该书不仅具有较高的理论水平,对于国内企业的汽车控制系统开发实践也具有重要的借鉴价值。

本书可作为汽车类、其他机械类和电子电气工程类专业的研究生或高年级本科生相关课程教材,也可作为汽车电子控制系统研发工程师及相关技术人员的参考书。毫无疑问,本书对于提高国内相关管理人员和技术人员汽车电子控制方面的水平也是非常有帮助的。

本书第 2 ~ 5 章由俞小莉翻译,第 11 章由李道飞和徐琳(杭州电子科技大学)翻译,其他部分的翻译与全书统稿由李道飞负责。本书也是浙江大学动力机械及车辆工程研究所团队合作的成果:翻译过程中得到了吴锋教授的大力支持,课题组成员钟勋、刘晓俊、方奕栋、叶锦、王雷、徐焕祥、姚栋伟等人在文字排版和图表方面做了很多工作,2006 级汽车专业本科生姜耀、王贝、毛杰、顾轶平、凌鑫晨、胡安庆、黄韬、高佳峰等同学在公式输入方面做了大量繁杂的工作。

原版中存在少量错误,在原著者 U.Kiencke 教授的帮助下,本书中用脚注形式加以标明。为符合国家出版物规范,对变量符号格式、参考文献格式等进行了适当的修改和补充。为了与原著保持一致,书中的部分变量符号表示并不符合国内习惯,也请读者朋友注意。

承蒙上海交通大学喻凡教授百忙之中对全书进行了仔细审阅,并提出许多修改建议,为本书译文增色不少,在此表示诚挚的谢意。

II 译者序

译者力求保持英文版中的原汁原味,翻译时尽量仔细推敲斟酌,但由于水平有限,其中翻译不足之处,敬请读者不吝批评指正!

李道飞

俞小莉

于浙江大学玉泉校区

2010年4月

英文第二版前言

自本书第一版出版至今已有五年之久,这期间,汽车控制领域的研究工作日趋活跃,成果在工业界的推广应用与产业化规模也急剧增长。因此,本书第二版素材选择有了更广的范围。新版对第一版中的重要内容进行了深化,并加入了一些新的内容。由于篇幅限制,新版删去了原版中相对不太重要的部分内容。

新版素材选择重点考虑的是当前备受关注且十分重要的主题。此外,也包括那些有利于进一步理解汽车系统基本工作过程和原理的内容。新增了“柴油机建模”和“诊断”两个章节。

新版在“传动系控制”中增加了“乘用车动力传动系防冲击控制”内容,重写了“车辆控制系统”章节中的大部分内容。此外,为了方便读者,还修正了第一版中所出现的错误,核查了符号对照表,添加了名词索引。

本书内容适合于本科高年级或研究生低年级的学生。当前,博洛尼亚进程(Bologna process,即欧洲教育体制改革“欧洲教育一体化进程”)正影响着欧洲的高等教育。从这点来看,本书适用于两年制硕士课程。

感谢 Dara Torkzadeh 和 Thomas Rambow 在“柴油机建模”部分所作的贡献,感谢 Mattias Nyberg 博士在“诊断”部分所做的工作,感谢 Julian Baumann 参与了“乘用车动力传动系防冲击控制”部分的写作。Marcus Hiemer 博士和 Jörg Barrho 对“车辆控制系统”部分作出了贡献并审阅了本书,对他们表示感谢。

2004 年 11 月

乌维·金恩科 (Uwe Kiencke)

拉尔斯·尼尔森 (Lars Nielsen)

英文第一版前言

在过去的 25 年里,控制技术已成为汽车创新的推动力。为使汽车满足日益严格的经济性和排放标准,并提高其安全性、舒适性和方便性,必须采用汽车控制技术。

不论哪个技术领域中的控制系统设计,都要涉及实际系统、物理学、建模和设计方法等多个不可分割、相互作用的方方面面。汽车控制领域也不例外,在适用于控制的各种系统描述、建模和设计方法等方面,前人都已经做了许多广泛的研究和开发工作。

本书主旨

撰写这本关于“汽车控制”的书,就是为了阐述热力学、发动机基本工作原理、车辆动力学及其参数估计、汽车控制方法之间的相互影响关系。

在热力学、车辆动力学等专业领域,已出版了许多较好的专著(一些主要文献为德文专著)。但迄今为止,还未能找到一本对汽车实际系统、数据测量、建模和控制设计之间的联系进行深入讨论的专著。

很自然地,我们要把汽车控制的各个主要方面放到一本书中讨论。这就是说,内容要涉及发动机、传动系以及整车。原因之一是,在分析和设计方法论方面,针对这三者的控制系统存在相似之处,例如建立模型时如何在复杂程度和精度两方面之间取得平衡。另外一个也许更重要的原因是,当前发动机、传动系以及整车均采用独立控制,而未来趋势是要对三者进行集成控制,以便实现车辆总体优化。

实际测量结果也十分重要。这可使读者知道如何简化实际系统以建立模型,了解如何判断建模假设的合理性。因此,我们在书中所讨论的都是与实车情形接近的系统,并非是纯粹的数学推导模型,所给的结果也并不纯粹是理论性的结果。

本书读者

对于控制工程师,本书有助于理解控制器设计所需的发动机和车辆模型;而机械工程师阅读本书,则可了解车辆应用领域中信号处理和自动控制方面的内容。

事实上,这也是促使我们写作本书的动力。我们两位都是国际自动控制联合会“汽车控制技术委员会”(IFAC Technical Committee on Automotive Control)的成员,第一作者为该委员会的现任主席。我们经常在该委员会以及 SAE 会议中碰面,也由此看到架起两个领域之间沟通桥梁的潜在意义。然而,对于我们来说,更重要的是通过本书来分享我们在“汽车控制系统”领域内所经历的乐趣与激动,并使这个领域得到人们应有的重视。

本书内容

本书按照发动机、传动系、整车的顺序来写作。

第2~4章讨论发动机的基础知识、热力学、模型、控制以及先进的发动机设计理念,内容涉及主要的发动机控制系统及其设计。第2章中的热力学模型讨论发动机循环过程中的变化参数(精确到 1° 曲轴转角)。发动机平均值模型中,一个到多个发动机循环内关键变量的变化用平均值来考虑。有了这些模型作为基础,才易于理解影响发动机的工作、效率和排放的各种复杂因素。此外,这些模型也描述了对发动机控制设计与性能(第3、5章中)存在影响的特性。

第7章讨论的是动力传动系,包括发动机、离合器、变速器、传动轴/驱动轴以及车轮等部分。由于其弹性,传动系存在机械共振。消除这种共振,无论对于提升传动系功能和驱动能力,还是减小传动系零部件机械应力和噪声,都非常重要。本章讨论两种重要的传动系控制模式,即传动系速度控制和转矩控制,可分别应用于巡航控制系统和自动换挡控制系统。

车辆动力学控制系统可帮助驾驶员安全地控制车辆。这些系统通常面向安全性,仅在预防事故发生时才启用,但要求在短时间内就矫正车辆的动态响应。还有一些系统用来改善乘员舒适性。与加速、制动、转弯相关的性能以及平顺性,主要取决于施加到车辆上的轮胎-路面作用力。许多车辆动力学研究都围绕着轮胎作用力的产生机制,以及如何在简化模型中对其有效地考虑和处理等问题。这些模型的基本理论和一些相关控制系统在第8~10章进行讨论。

本书讨论的系统 and 原理都尽可能接近于实车应用,而第11章的内容则是一个例外。这主要是由于道路和驾驶员建模是汽车系统仿真设计的一部分,但不是车辆的一部分。然而,需要注意的是,由于先进仿真技术的重要性,道路和驾驶员模型已成为汽车系统设计循环中的重要部分。

本书背景以及如何使用本书

本书素材曾在德国卡尔斯鲁厄大学(University Karlsruhe)和瑞典林雪平大学(Linköping University)相关课程中使用。它比较适用于技术学院中工程学项目——文凭工程师(diploma-engineer)以及理科硕士(master of science)的后期教学(第3~4年)。

本书已经包含大部分的相关基础知识,但假如读者拥有自动控制、信号与系统、力学与物理学等方面的本科基础课程知识,则更易于阅读本书。

使用本书时,课程规划可包括问题求解和实验两部分。实验作业包括的内容一般有试验测量、建模、控制器设计以及仿真。假如学生了解更多的现代控制理论等方面知识,可实现更精细的控制系统设计。当用于介绍性的研究生课程时,也是如此。

本书作者

Kiencke 博士于20世纪70年代早期开始本领域的研究,最初在罗伯特·博世公司(Robert Bosch Corporation)进行自适应空燃比控制和爆震控制系统的研发。在接下来的几年中,他发表了在发动机建模^[2,22]和控制器设计^[63]方面更加复杂的方法的论文。那时,他是车载通信网络——控制器局域网络(controller area network, CAN)开发组的领导。利用车载网络,原先独立的控制系统可整合为车辆集成控制。在20世纪90年代早期,他加入卡尔斯鲁厄大学,在发动机和车辆动力学控制方面开展了深入的研究。

Nielsen 博士在机电领域已有 15 年以上的研究经历。起初,他在瑞典隆德大学 (Lund University) 自动控制系统进行研究工作。这段时间内,他与产业界不断合作,同 Scania AB、Mercel AB、Saab Automobile AB、Volvo AB 以及 DaimlerChrysler 开展联合研究项目。自 1992 年起,他开始在瑞典林雪平大学工作,并拥有车辆系统领域的 Sten Gustafsson 荣誉教授职位。

致谢

本书所提出的控制系统,大多数是由研究小组成员所共同开发的。因此,第一作者要特别感谢下列企业界合作者: Martin Zechall 博士 (空燃比 Lambda 控制)、Böning 博士 (爆震控制和发动机 Map 图优化)、Alfred Schutz (发动机怠速控制)、Heinz Leiber (ABS 制动控制)、Michael Henn 博士 (失火检测)、Achim Daiss 博士 (车辆建模与辨识) 以及 Rajjid Majjad 博士 (道路和驾驶员建模)。第一作者与他们的合作十分愉快,并由此建立了深厚的友谊。第二作者要特别感谢 Magnus Pettersson (在传动系控制方面进行合作研究) 和 Lars Eriksson (在发动机建模和控制方面进行合作研究)。此外,还要特别感谢来自工业界的合作伙伴,他们是 Lars-Gunnar Hedström、Jan Nytomt 以及 Jan Dellrud。

我们两位还要感谢 Christopher Riegel、Jochen Schöntaler、Dara Torkzadeh、Tracy Dalton 博士在翻译和修改本书部分内容时所作出的巨大努力,感谢本书的出版者 Dietrich Merkle 博士。

最后,要感谢的是我们的家庭成员,特别是第一作者的夫人 Margarete 和第二作者的夫人 Ingrid。在许多周末和假期中,作者因撰写本书而无法陪伴,感谢她们的宽容和理解。

乌维·金恩科 (Uwe Kiencke)
拉尔斯·尼尔森 (Lars Nielsen)

目 录

第 1 章 引言	1	3.2 发动机控制	47
1.1 汽车的总体要求	1	3.2.1 内燃机排放	47
1.2 汽车控制系统的历史	1	3.2.2 燃油供给控制	48
1.3 汽车控制系统的前景	2	3.2.3 燃油间歇喷射	50
第 2 章 发动机热力学循环	3	3.2.4 喷油时间计算	51
2.1 导论	3	3.2.5 循环进气量	52
2.1.1 热力学第一定律	3	3.2.6 进气歧管动态特性	54
2.1.2 比热容	6	3.2.7 点火提前角控制	56
2.1.3 理想气体的状态变化	8	3.2.8 发动机 Map 图优化	58
2.1.4 热力学循环	14	第 4 章 柴油机建模	62
2.2 发动机理论循环	18	4.1 柴油机的四冲程循环	62
2.2.1 点燃式发动机	18	4.2 换气流动	63
2.2.2 压燃式发动机	20	4.2.1 排气流动	64
2.2.3 双燃烧循环	22	4.2.2 进气流动	65
2.2.4 不同发动机的比较	24	4.3 空燃比	66
2.3 其他形式的动力装置	27	4.3.1 排气冲程	66
2.3.1 燃气轮机	27	4.3.2 进气冲程	67
2.3.2 斯特林发动机	30	4.3.3 压缩与燃烧	67
2.3.3 蒸汽机	32	4.4 质量守恒	67
2.3.4 不同二次能源和动力 系统的潜力	34	4.5 燃油喷射	68
第 3 章 发动机管理系统	36	4.6 燃油蒸发	70
3.1 发动机基本工作过程	36	4.7 燃烧过程	73
3.1.1 有效功	36	4.7.1 零维模型	74
3.1.2 空燃比	40	4.7.2 热力学方程	74
3.1.3 发动机类型	41	4.7.3 能量守恒	74
3.1.4 混合气着火	42	4.7.4 体积功	75
3.1.5 火焰传播	43	4.7.5 热量损失	75
3.1.6 能量转化	44	4.7.6 能量转化	76
		4.7.7 流体的焓	76
		4.7.8 气体充量的内能	77

4.7.9 状态变量计算	77	6.6.1 残差产生器设计	134
4.8 模型参数拟合	78	6.6.2 残差评价	136
4.9 炭烟生成	81	6.6.3 基于模型诊断在汽油机 中的应用实例	137
第 5 章 发动机控制系统	84	6.7 诊断实例——汽油机进气 系统	138
5.1 空燃比控制	84	6.7.1 进气系统建模	139
5.1.1 点燃式发动机的化学 计量比工况	84	6.7.2 模型参数辨识	141
5.1.2 氧传感器	88	6.7.3 诊断系统	142
5.1.3 基于空燃比控制的 发动机模型	90	6.7.4 残差产生	142
5.1.4 空燃比控制回路	91	6.7.5 残差评价	144
5.1.5 测量结果	94	6.7.6 诊断系统实施	145
5.1.6 自适应空燃比控制	97	6.7.7 诊断系统验证	145
5.2 怠速控制	101	6.8 诊断实例——失火检测	152
5.2.1 能量转换模型和转矩 平衡	102	6.8.1 曲轴转动惯量	152
5.2.2 状态空间控制	103	6.8.2 曲轴力矩平衡	154
5.2.3 测量结果	106	6.8.3 线性系统表示	155
5.3 爆震控制	109	6.8.4 Kalman 滤波器设计	156
5.3.1 点燃式发动机的爆震	109	6.8.5 结果	157
5.3.2 爆震传感器	111	6.9 诊断系统的工程应用	159
5.3.3 信号处理	113	第 7 章 传动系控制	160
5.3.4 爆震控制	115	7.1 传动系建模	160
5.3.5 自适应爆震控制	116	7.1.1 传动系基本方程	160
5.4 气缸喷油量均衡补偿	119	7.1.2 传动系基本模型	164
5.4.1 发动机稳态工况的 有效功残差	120	7.1.3 模型方程综合	165
5.4.2 发动机瞬变工况的 有效功残差	120	7.1.4 建模示例	166
5.4.3 喷油 Map 图的自适应	123	7.2 变速器空挡位下的传动系 建模	182
第 6 章 诊断	125	7.2.1 静态换挡测试	183
6.1 汽车发动机的诊断	125	7.2.2 动态换挡测试	183
6.2 OBDII	126	7.2.3 解耦模型	185
6.3 诊断简介	128	7.3 传动系控制	186
6.4 基于模型的诊断	130	7.3.1 背景	187
6.5 故障	131	7.3.2 实车测试和传动系控制 问题	188
6.6 基于模型诊断的原理	133	7.3.3 传动系控制目标	191
		7.3.4 传动系控制结构说明	191

7.3.5 系统状态空间表述	191	8.4 整车模型	270
7.3.6 控制器表述	194	8.4.1 平动计算	270
7.3.7 反馈特性	195	8.4.2 转动计算	273
7.3.8 基于 LQG/LTR 方法的 传动系控制	197	8.4.3 悬架	274
7.4 传动系速度控制	203	8.4.4 简化的双轨模型	279
7.4.1 RQV 控制	203	8.4.5 车辆稳定性分析	283
7.4.2 问题表述	205	8.5 车辆模型验证	285
7.4.3 传动系速度控制——基于 主动衰减, 实现传统 RQV 特性	206	8.5.1 验证步骤	285
7.4.4 传感器信号选择的影响 ..	210	8.5.2 验证结果	286
7.4.5 速度控制器仿真	215	第 9 章 车辆参数与状态	290
7.4.6 速度控制器测试	217	9.1 车速估计	290
7.4.7 总结	218	9.1.1 传感器信息预处理	290
7.5 传动系换挡控制	219	9.1.2 Kalman 滤波法	292
7.5.1 传动系内部转矩	219	9.1.3 模糊逻辑简介	293
7.5.2 变速器转矩控制准则	225	9.1.4 模糊估计器	294
7.5.3 变速器转矩控制器设计 ..	228	9.1.5 车速估计器结果	298
7.5.4 传感器信号选择的影响 ..	230	9.2 车辆横摆角速度估计	300
7.5.5 换挡控制器仿真	233	9.2.1 数据预处理	300
7.5.6 换挡控制器测试	234	9.2.2 采用轮速计算横摆角 速度	301
7.6 乘用车动力传动系防 冲击控制	239	9.2.3 输入	301
7.6.1 乘用车动力传动系模型 ..	241	9.2.4 输出	303
7.6.2 控制器设计	244	9.2.5 模糊系统	303
7.6.3 系统性能	247	9.2.6 测试验证: 交通环岛 行驶工况	303
第 8 章 车辆建模	249	9.3 行驶轨迹再现	304
8.1 引言	249	9.3.1 车辆位置坐标	305
8.2 坐标系	250	9.3.2 轨迹再现结果	306
8.3 轮胎模型	251	9.3.3 鲁棒性分析	306
8.3.1 轮胎接地点速度	252	9.4 车辆参数辨识	309
8.3.2 车轮滑移率和轮胎侧偏角 ..	259	9.4.1 附着特性	310
8.3.3 附着系数计算	263	9.4.2 转动惯量	313
8.3.4 附着力计算	265	9.4.3 减振器特性	319
8.3.5 轮胎特性	267	9.5 车辆参数近似估计	320
8.3.6 轮胎半径定义	269	9.5.1 轮胎接地载荷计算	320
		9.5.2 轮胎侧偏刚度调整	322
		9.5.3 俯仰角与侧倾角估计	323

9.5.4 车辆质量的估计	325	服务时间	364
9.6 质心侧偏角观测器	326	11.3.7 参考值计算	366
9.6.1 非线性观测器基本理论 ...	326	11.3.8 纵向和侧向控制	369
9.6.2 观测器设计	328	A 附录	381
9.6.3 质心侧偏角观测器验证 ...	329	A.1 雅可比矩阵 / 非线性双轨	
9.7 路面坡度估计	331	模型	381
9.7.1 方法 1: 基于纵向加速度		A.2 非线性双轨简化模型	
和轮速	332	的能观性	384
9.7.2 方法 2: 基于模型的路面		A.2.1 第一步: 泰勒展开式 ...	384
坡度角观测	333	A.2.2 第二步: 在实际工况点	
第 10 章 车辆控制系统	337	附近进行线性化	385
10.1 ABS 控制系统	337	A.2.3 能观性证明	386
10.1.1 轮胎接地点力矩平衡 ...	337	A.3 广义预测控制器设计	388
10.1.2 ABS 控制循环	338	A.3.1 预测模型	389
10.1.3 ABS 循环检测	339	A.3.2 Diophantine 方程的	
10.2 横摆动力学控制	343	递推算法	390
10.2.1 简单控制律设计	344	A.3.3 控制律	391
10.2.2 参考值推导	345	A.3.4 控制器参数选择	391
第 11 章 道路和驾驶员模型	350	A.4 驾驶员模型参数	392
11.1 道路模型	350	A.5 基于最小二乘法的参数估计 ...	393
11.1.1 道路模型的要求	350	A.5.1 最小二乘法的参数估计	
11.1.2 路径定义	351	方法	393
11.1.3 路面附着和风力条件 ...	354	A.5.2 基于递推最小二乘法的	
11.2 PID 驾驶员模型	354	参数估计	394
11.3 混合驾驶员模型	355	A.5.3 协方差离散平方根滤波 ...	395
11.3.1 车辆控制任务	356	B 符号对照表	397
11.3.2 作为控制器的驾驶人		B.1 数学定义	397
特性	358	B.2 物理变量	398
11.3.3 信息处理	359	B.3 英文缩写	411
11.3.4 驾驶员全模型	361	B.4 单位	412
11.3.5 人类信息获取模型	361	参考文献	413
11.3.6 事件到达时间间隔和			

第 1 章 引言

现代汽车已成为计算机化的机器 (computerized machine)。这一事实已经给汽车多方面功能的实现带来了巨大影响。在客户要求和社会需求不断升级的同时, 计算机化给汽车研发过程带来了巨大的变化。

1.1 汽车的总体要求

作为一种交通工具, 汽车的总体要求是安全、舒适、环保和经济。这意味着汽车控制系统的三个主要目标为:

- ① 效率高——保证经济性。
- ② 排放低——保护环境。
- ③ 安全性高。

此外, 还包括舒适性好、驱动能力强、耐磨损、实用性好和功能寿命长等设计目标。

1.2 汽车控制系统的历史

许多现在看来很先进、很新颖的技术其实在很久之前就有了。一个有趣的问题是: “为什么这些很久以前就有的技术到现在才变成了商业化产品?” 汽油机直喷技术就是一个例子。实际上, 直喷的概念早就提出来了 (即使有时它显得很新颖), 但当前直喷技术产品的创新之处在于: 通过采用适当的控制可实现更具竞争力的功能和性能。

因此, 计算机控制技术的突破可以说正是汽车控制系统的推动力。又比如 ABS(anti-lock braking system, 防抱死制动系统), ABS 的概念早已提出, 但那时采用机械式控制或者模拟电子技术都无法实现满意的功能。而如今, ABS 系统已得到了广泛采用。

1.3 汽车控制系统的前景

本书重点针对上述三个总体目标来讨论汽车控制系统。当前,在汽车排放及先进诊断功能方面,来自立法机构和产品客户的要求都日益严格。因此,控制单元中的算法及诊断功能是产品开发中的关键。要保证产品的可靠性和耐用性,而不仅仅在新车状况下可满足功能要求。另外一些汽车控制的例子包括:通过操纵动力学控制提高车辆稳定性;通过驱动转矩控制提高车辆驱动能力,同时减少离合器磨损。

在控制设计方法论方面,数学建模尤其重要。它将用于基于模型的控制及诊断系统设计,同时它也是传感器信息融合、自适应控制以及监控系统的基础。

机械与控制的联合设计

汽车电子控制不仅可对现有机械设计进行性能改进,在很大程度上还会影响传统设计方法,从而启发创新的机械系统设计。这种创新设计方案需要结合或依靠电控系统来实现。

因此,汽车设计已经演变为机械—控制联合设计模式。采用这种方法时,开发目标可以设得更高。因此,未来的汽车控制系统将要解决下面这个具有启发性的难题。

技术难题

未来的汽车也许可以作为城镇的空气净化器,这种可能性不能排除。在工业化城镇中,空气污染源一般包括车辆、住宅采暖以及工业等。利用未来的减排技术,将污染物充分燃烧或收集在催化剂中,废气经过催化处理后的污染物浓度可能比空气污染物浓度还要低。

这种理想的燃烧过程只产生水和二氧化碳,因此减少二氧化碳排放就是提高经济性。

若这些都可能实现,在各种环境/负荷条件以及行驶条件下,车辆都必须像空气净化器一样。开发这种车辆将需要依赖于汽车控制系统。这是我们所面对的技术难题,而理解本书内容则是该技术难题解决过程的第一步。

第 2 章 发动机热力学循环

本章分析讨论发动机理论循环的热力学特性, 主要内容包括热力学第一定律和各种发动机理论循环的热力学模型及其热效率分析计算。

2.1 导论

2.1.1 热力学第一定律

理想气体状态方程为

$$pV = mR\vartheta \quad (2.1)$$

式中: p ——气体的压力, Pa (N/m^2);

V ——气体的体积, m^3 ;

m ——气体的质量, kg;

R ——气体常数, $R=287.4 \text{ m}^2/(\text{s}^2 \cdot \text{K})$;

ϑ ——气体的热力学温度, K。

根据上式, pV 的单位是 J(焦耳), 其数值大小取决于气体的质量和温度。

热量的定义为

$$q = cm\vartheta \quad (2.2)$$

式中: q ——热量, J;

c ——比热容, $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ 。

式 (2.2) 适用于任何物体, 包括固态、液态和气态物体, 其中比热容是物体的材料属性。对于气体, 比热容还与气体状态有关。

1. 热力学第一定律

对于闭系循环中的微元过程, 热力学第一定律的微分形式为:

$$dq = du + dw \quad (2.3)$$

式中: dq ——热量的微分, 定义气体工质吸收热量时为正;

du ——内能的微分, 定义气体工质内能增加时为正;

dw ——机械功的微分, 定义气体工质对外做功时为正。

根据式 (2.3), 对于质量一定的理想气体工质, 其吸收热量 dq 的一部分导致工质内能增加 du , 其余部分以机械功方式向外界输出。可见, 能量不会凭空产生, 也不会自行消失。对式 (2.3) 进行积分可以计算状态变化过程中的能量转换。

2. 体积变化

体积变化或压力变化是热力系统与外界进行机械功传递的两种基本方式。

在发动机 (内燃机) 中, 一定数量的压缩气体在气缸内膨胀, 所作的机械功 dw_v 取决于作用在活塞上的力 F 和活塞的位移 ds :

$$dw_v = Fds = pAds$$

式中: A ——气缸的横截面面积;

p ——气缸内部气体的压力。

通常, 上式可以写为:

$$dw_v = pdV \quad (2.4)$$

这里的机械功 dw_v 等于气缸内气体膨胀而传递给机械系统的动能。定义外界对缸内气体所作的机械功为负: 如压缩过程 $dV < 0$, 则 $dw_v < 0$; 缸内气体对外界所作的功为正: 如膨胀过程 $dV > 0$, 则 $dw_v > 0$ 。图 2.1 反映了热力系统体积变化与机械功传递之间的关系。

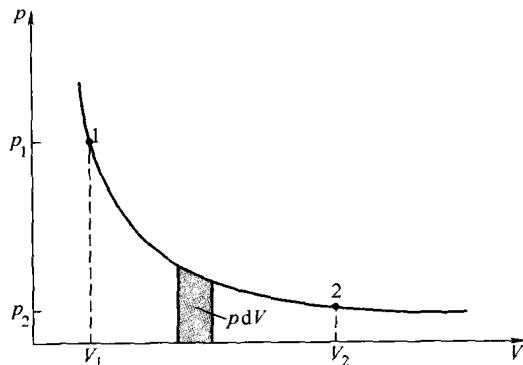


图 2.1 体积变化产生的机械功

3. 压力变化

在燃气轮机中, 动能的传递是由于气体工质连续流经两个截面时的压力变化而产生的, 即

$$dw_p = -Vdp \quad (2.5)$$