

2016年国家科技进步一等奖项目成果 ★

2018年国家出版基金支持项目 ★



8档自动变速器（8AT）

自主研发及产业化成果丛书

自动变速器

电控系统及其应用软件 开发技术

全彩印刷

徐向阳◎著

中国汽车工程学会前任理事长 **付于武** | 作序推荐
中国汽车工程学会现任理事长 **李骏**

DEVELOPMENT TECHNOLOGY OF
AUTOMATIC TRANSMISSION ELECTRONIC
CONTROL SYSTEM AND ITS APPLICATION SOFTWARE

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车技术创新与研发系列丛书

自动变速器电控系统及其应用 软件开发技术

徐向阳 著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电控系统是汽车自动变速器的三大系统之一，电控系统及其应用软件开发技术是实现自动变速器机、电、液精准控制的关键。本书系统介绍了电控系统及其软件正向开发技术和方法，提出了自动变速器换挡控制参数和换挡规律、最佳动力性及最佳经济性MAP图生成方法；提出了修正转动惯量的概念，推导出了修正转动惯量的计算公式；提出了动力传动系统仿真分析模型的架构和发动机、变速器、离合器、液力变矩器和路面阻力模型的搭建方法；研究了离合器对离合器式换挡过程控制方法，提出了换挡聚类识别和感知驾驶意图的换挡控制基本原理、方法和策略，以及自适应控制理论和自适应学习策略；提出了自动变速器下线测试方法、试验验证和换挡品质评价方法。

本书提出的理论与方法，也可应用于混合动力机电耦合系统、多档位自动电驱动总成电控系统及其应用软件开发。

本书对从事汽车自动变速器、混合动力机电耦合系统和多档位自动电驱动系统开发的工程技术人员具有非常重要的指导意义。本书也可以作为高等院校车辆工程专业大学生和研究生的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

自动变速器电控系统及其应用软件开发技术 / 徐向阳著. — 北京：机械工业出版社，2018.7
（汽车技术创新与研发系列丛书）

2018 年国家出版基金项目

ISBN 978-7-111-60520-1

I . ①自… II . ①徐… III . ①汽车 - 自动变速装置 - 电子控制装置 - 应用软件 - 软件开发 - 研究 IV . ①U463.212-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 161966 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：母云红 责任编辑：母云红 赵海青

责任校对：樊钟英 责任印制：常天培

北京铭成印刷有限公司印刷

2018 年 9 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 16.5 印张 · 2 插页 · 361 千字

0 001— 册

标准书号：ISBN 978-7-111-60520-1

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

封面防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

01 序一

P R E F A C E

进入 21 世纪以来，我国汽车工业快速发展，中国汽车市场已经连续多年成为世界第一大汽车市场。虽然我国已经成为汽车大国，但还不是汽车强国，其根本原因在于我国汽车核心零部件不强。以汽车自动变速器为代表的汽车核心零部件技术和产品长期严重依赖国外，掌握自动变速器核心技术，并实现自动变速器产业化，是几代中国汽车人的梦想。

北京航空航天大学徐向阳教授长期从事汽车传动领域的教学和科研工作，与盛瑞传动股份有限公司合作，历时 10 年，自主创新，主持开发了世界首款前置前驱 8 档自动变速器（8AT），并获得了 2016 年国家科技进步一等奖（第一完成人）。这是迄今为止我国汽车零部件获得的唯一的国家科技进步一等奖。自动变速器项目的突破，对我国汽车工业具有里程碑式的意义，它标志着我国汽车工业核心技术受制于人的局面正逐步破解，打破了国外的垄断格局。

《自动变速器电控系统及其应用软件开发技术》《自动变速器行星变速机构方案优选理论与方法》两本专著基于徐向阳教授长期教学研究成果和主持世界首款前置前驱 8 档自动变速器研发过程中积累的工程技术经验，系统总结了国家科技进步一等奖项目中的理论创新和技术创新成果。两本专著中凝练的理论、方法和技术，不仅适用于汽车自动变速器，更是节能与新能源汽车中混合动力机电耦合系统、多档位自动电驱动总成的共性理论、方法和技术。专著的出版是继获得国家科技进步一等奖之后，徐向阳教授对我国自动变速器行业技术进步和自主创新的又一重要贡献，对推动汽车传动系统传动方案设计和电控系统开发两大共性核心技术发展具有非常重要的指导意义。

长期以来，我国自动变速器市场和技术被外资高度垄断。由于国内自动变速器相关的理论研究和工程技术开发从 21 世纪初才正式起步，迄今为止，国内还没有专著或教材对自动变速器理论和工程研发技术进行系统的论述。因此，这两本专著的出版将填补国内在该出版领域的空白，具有非常重要的价值。

自动变速器理论和技术、混合动力机电耦合系统总成技术、纯电驱动技术是国内外汽车行业研究的热点，也是国内众多企业亟需攻克的核心总成技术。2016 年发布的《节能与新能源汽车技术路线图》，也把自动变速器、混合动力机电耦合系统总成和多档位纯电驱动系统列为重点支持发展的方向。这两本专著的出版，对汽车自动变速器、混合



动力机电耦合系统总成、多档位电驱动系统的科研人员的培养和变速器企业的自主创新，既具有现实的理论和技术指导意义，又具有提升自主自动变速器企业核心竞争力、促进汽车行业技术进步的社会意义。

相信这两本专著的出版，将会助力中国汽车行业高端人才培养和自主创新，服务节能与新能源汽车国家战略新兴产业，为推动我国汽车自动传动理论研究和科技进步做出重要贡献。

中国汽车工程学会名誉理事长

02 序二

P R E F A C E

为实现中华民族伟大复兴，实现中国经济转型升级，我国提出了“中国制造2025”的宏伟计划。制造业是国民经济的主体，是立国之本、兴国之器、强国之基。汽车工业因其产业链长，涉及面广，资金、人才和技术高度密集，成为国民经济中举足轻重的支柱性产业。中国是汽车大国，但不是汽车强国，核心零部件技术落后是制约我国汽车工业由大变强的最大瓶颈。因此，汽车关键零部件技术自主创新是摆在我国汽车工业面前一个艰巨而长期的任务。习近平总书记曾经说过，技术和粮食一样，靠别人靠不住，要端自己的饭碗，自立才能自强。

汽车自动变速器是集机、电、液、控于一体的汽车核心总成。长期以来，我国自动变速器市场和技术被外资高度垄断。由于技术和产业的落后，国内系统介绍自动变速器设计理论和方法方面的专著或教材也处于空白。

北京航空航天大学徐向阳教授长期从事汽车自动变速器理论和技术方面的教学和科研工作，带领团队历时十年自主开发了世界首款前置前驱8档自动变速器（8AT），并作为第一完成人获得了2016年国家科技进步一等奖。《自动变速器行星变速机构方案优选理论与方法》《自动变速器电控系统及其应用软件开发技术》两本专著是徐向阳教授在长期教学和科研工作的基础上，对国家科技进步一等奖项目“结构方案寻优”和“机电液精准控制”两大创新点中的理论创新和技术创新成果的系统总结。

变速机构方案优选是自动变速器设计开发的第一步，变速机构传动方案直接决定了自动变速器的结构复杂度、传动效率、成本等关键技术指标，属于原始创新，也是国外专利保护最严密的领域。理论上，从所有可能设计元素（发动机、电机、行星排、定轴圆柱齿轮、离合器、同轴布置、平行轴布置等）中选择适合的构件类型和数量，并以可能的连接方式组合在一起形成的传动方案，随着离合器和齿轮组等设计元素的增加，其形成的所有可能构型数以亿计；而且从数以亿计的可能构型中进行全局优选，还受到来自结构、性能和工程等各方面的诸多参数约束，如传动效率、结构尺寸、工艺性、成本等，这需要实现设计参数的最优匹配。因此，变速机构传动方案优选属于复杂组合优选的多参数约束满足问题，也是困扰国内外自动变速器方案设计的一大理论和技术难题。《自动变速器行星变速机构方案优选理论与方法》在国际上首次提出了满足多需求和多约束的4自由度（含）行星齿轮传动系统所有可能构型的自动组合和全局选优方法，建立了全新的4自由行星变速



机构方案优选理论与方法，对于自动变速器、混合动力和插电式混合动力机电耦合机构、多档位电动汽车用自动变速器等的方案设计具有重要的指导意义。

自动变速器控制对象多，协同控制参数过万，机电液耦合控制时变、非线性，应用软件算法要动态补偿性能衰退，保证 30 万千米行驶里程换档品质不变。国际上，普遍采用复杂模型或海量标定参数的方法，难以做到精准控制和快速匹配的平衡；忽略动态感知，强调通过零件制造的一致性来减少批量差异性和后期性能衰减，导致制造成本高。《自动变速器电控系统及其应用软件开发技术》结合中国道路交通状况特点及制造业基础，提出了自动变速器换档控制参数和换档规律，最佳动力性及最佳经济性 MAP 图生成方法，动力传动系统仿真分析模型的架构和发动机、变速器、离合器、液力变矩器和路面阻力模型的搭建方法；研究了离合器对离合器式换档过程控制方法，提出了换档聚类识别和感知驾驶意图的换档控制方法和策略，以及自适应控制理论和自适应学习策略；为解决变速器批量制造中存在的零件特性散差，创造性提出了 SUBROM 下线检测与自匹配技术，实现了机电液特性数据与发动机和整车实现自动匹配和初标定，保证了换档品质的“横向”一批量覆盖性；结合自适应和里程补偿，保证了换档品质的“纵向”一生命周期内的稳定性，实现了整车换档控制与下线检测数据的无缝融合。两本专著中论述的策略和方法，既有理论创新，又有技术创新，对自动变速器电控系统及其应用软件正向开发具有非常重要的指导意义。

节能与新能源汽车是《中国制造 2025》规划突破的十大重点领域之一。2016 年工信部发布的《节能与新能源汽车技术路线图》中，把自动变速器、混合动力机电耦合系统总成和多档位纯电驱动列为重点支持发展的方向。自动变速器技术是混合动力和插电式混合动力机电耦合机构的技术基础，也是混合动力、插电式混合动力和电动汽车等节能与新能源汽车的核心技术。两本专著中提出的理论、方法和关键技术，不仅适合于传统汽车自动变速器，也适合于节能与新能源汽车中混合动力与插电式混合动力机电耦合机构、多档位自动电驱动总成等共性理论、方法和技术的研究。

这两本专著填补了国内在该领域的空白。专著的出版是徐向阳教授继获得国家科技进步一等奖之后，对我国自动变速器行业技术进步和自主创新的又一重要贡献，对节能与新能源汽车传动系统传动方案设计和电控系统开发两大共性核心技术具有非常重要的指导意义。因此，这两本专著获得了 2018 年国家出版基金的支持。

相信这两本专著能够助力中国汽车工程技术开发的学术交流，助力中国汽车自动变速器高水平人才队伍培养和自主创新，为我国自主掌握节能与新能源汽车这一国家战略新兴产业的核心技术做出贡献。

中国工程院院士
中国汽车工程学会理事长

前言

PREFACE

汽车自动变速器是集机、电、液、控于一体的汽车核心总成，是汽车行业公认的技术含量最高、工程化和产业化难度最大的汽车总成。我国是世界第一大汽车产销国，但不是汽车强国，核心总成技术空心化是制约我国汽车工业由大变强的最大障碍。我国自动变速器市场需求巨大，但市场、技术却被外资高度垄断，因此实现自动变速器的自主创新，成了几代中国汽车人共同的梦想。

在国家自然科学基金、国家科技支撑计划、重大科技成果转化等项目的支持下，我带领前置前驱 8 档自动变速器（8AT）团队，历时 10 年，产学研用协同创新，开展了扎实的基础研究和工程技术开发，突破了自动变速器“结构方案寻优、机电液精准控制和制造一致性”三大核心技术，成功开发了世界首款 8AT 及其系列产品，并与一汽、北汽、江铃等 8 家整车企业的 18 款车型实现配套。2016 年，“前置前驱 8 档自动变速器（8AT）研发及其产业化”项目获得国家科技进步一等奖，这是迄今为止汽车行业获得的第三个国家科技进步一等奖，是汽车零部件获得的唯一的国家科技进步一等奖。

自动变速器电控系统及其应用软件作为自动变速器的核心，是自动变速器研发关键技术中的灵魂。自动变速器电控系统和软件的匹配标定技术与自动变速器的换档品质、可靠性、耐久性、动力性、经济型、驾驶性等主要性能密切相关。汽车电控系统，特别是电控系统软件一直是我国汽车工业最缺失的核心技术之一。迄今为止，国内还没有相关的科技文献系统研究自动变速器电控系统及其应用软件的正向设计开发技术。

鉴于此，我系统地总结了长期以来从事汽车自动变速器教学和科研工作所取得的理论研究成果，以及带领团队从事 8AT 研发工程中积累的工程技术经验，撰写了《自动变速器电控系统及其应用软件开发技术》。本书着眼于“工程化样机到量产级批量产品”的推广过程，对自动变速器电控系统及其应用软件产业化技术进行了系统的论述，形成了电控系统标准化、规范化的软硬件开发方法，继承性、可移植性的模块设计方法，以及实用性的换档规律和离合器控制策略、自动变速器下线标定及自适应算法，将为打破国外垄断的技术壁垒，攻克电控系统及其应用软件产业化的关键技术难题，实现自动变速器自主创新提供参考和帮助。本书所阐述的内容也是 8AT 项目研发过程中突破的三大关键技术之一。

特别需要说明的是，本书提出的开发流程、控制策略、控制算法等基本理论和方法、技术，不仅可以用于 AT 自动变速器的开发，对 CVT、DCT、AMT 等类型的自动



变速器的开发也具有非常重要的参考价值，也是混合动力变速器、插电式混合动力变速器、电动汽车用自动变速器等新能源汽车用自动变速器或机电耦合系统总成电控系统及其应用软件开发的基础。

我的博士研究生戴振坤、鲁曦、郭伟、刘洋、程云江等为自动变速器电控系统及其应用软件开发技术的形成做出了重要贡献。盛瑞传动股份有限公司刘祥伍董事长、周立亭副董事长及盛瑞传动股份有限公司、江铃汽车集团公司等为本书的理论与方法的工程应用创造了非常好的条件。北京航空航天大学与盛瑞传动股份有限公司、江铃汽车集团公司等企业的产学研深度合作为本书的出版奠定了坚实的基础。在此，特别向刘祥伍董事长、周立亭副董事长及北航、盛瑞、江铃等 8AT 团队的所有成员表示特别感谢。

在 8AT 项目研发过程中，围绕相关理论与方法，原机械工业部何光远部长、中国汽车工程学会付于武名誉理事长、吉林大学郭孔辉院士、中国汽车工程学会李俊理事长、中国汽车工程研究院有限公司李开国董事长等国内著名的专家学者给予了非常专业的指导和帮助，也得到了科技部、国家自然科学基金委员会、山东省科技厅、中国汽车工程学会、中国汽车工业协会等单位的大力支持。在此，对曾经给予 8AT 项目关心和支 持的所有国内外专家学者、配套企业、国家和地方政府、学会和协会等单位和组织表示特别感谢！

特别感谢国家出版基金对本书提供的支持！

希望本书的出版，能够为我国自动变速器、混合动力机电耦合系统和多档位电驱动总成传动方案设计的原始创新，为新能源汽车技术和产业的发展，尽微薄之力。

2018 年 3 月 30 日于北京航空航天大学



序一
序二
前言

第 1 章 绪论	1
1.1 背景和意义	1
1.2 自动变速器电控系统及其应用软件研究现状	3
1.2.1 国外研究现状	3
1.2.2 国内研究现状	5
1.3 本书主要内容	8
第 2 章 前置前驱 8 档自动变速器基本结构原理	9
2.1 8AT 机械系统基本结构	9
2.2 8AT 液压系统功能原理	12
2.2.1 供油调压与流量控制系统	14
2.2.2 换档操控系统	14
2.2.3 变矩器供油闭锁控制及冷却润滑系统	14
2.3 8AT 电控系统组成与工作原理	15
2.4 本章小结	16
第 3 章 电子控制系统及其应用软件开发	17
3.1 电子控制系统的硬件构成	17
3.1.1 通用性原型控制器平台	17
3.1.2 TCU 硬件系统设计	18
3.2 电控系统软硬件开发流程和开发工具	21
3.2.1 电控系统软件正向开发流程	21
3.2.2 电控系统硬件开发流程	26
3.2.3 电控系统应用软件开发工具	28



3.3	电子控制系统应用软件标准化模块化设计方法	29
3.3.1	ASPICE 模型的应用	30
3.3.2	CMMI 模型的应用	31
3.3.3	TCU 应用软件的集成性和继承性及标准化管理方法	34
3.3.4	应用软件与底层软件交互层功能设计	35
3.4	电子控制系统应用软件模块功能设计	37
3.5	本章小结	43

第 4 章 自动变速器换档 MAP 图生成方法 44

4.1	自动变速器换档图开发流程	44
4.2	自动变速器换档控制规律	45
4.2.1	自动变速器动力性换档 MAP 图生成方法	45
4.2.2	自动变速器经济性换档 MAP 图生成方法	47
4.2.3	不同工况条件下的模拟仿真计算	48
4.2.4	基于不同驾驶模式的动力性和燃油经济性优化	52
4.3	本章小结	55

第 5 章 行星排修正转动惯量及动力传动系统建模 56

5.1	简单负号行星排修正转动惯量	56
5.1.1	三坐标简单负号行星排动力学建模	56
5.1.2	四坐标简单负号行星排动力学建模	61
5.1.3	简单负号行星排修正转动惯量推导	63
5.2	简单正号行星排修正转动惯量	65
5.2.1	三坐标简单正号行星排动力学建模	65
5.2.2	五坐标简单正号行星排动力学建模	66
5.2.3	简单正号行星排修正转动惯量推导	67
5.3	拉维娜式行星排修正转动惯量	69
5.3.1	四坐标拉维娜式行星排动力学建模	69
5.3.2	六坐标拉维娜式行星排动力学建模	71
5.3.3	拉维娜式行星排修正转动惯量推导	71
5.4	动力传动系统建模	74
5.4.1	动力传动系统模型架构	74
5.4.2	8AT 机械结构动力学建模	74
5.4.3	其他部分动力学建模	78
5.5	本章小结	79

第 6 章 离合器到离合器换档过程控制原理 80

6.1 离合器对离合器式换档过程	80
6.1.1 离合器结合过程数学模型的建立	80
6.1.2 离合器结合过程关键参数分析	81
6.1.3 基于不同工况的离合器结合控制方法	82
6.1.4 离合器 PID 适应性滑差控制方法	87
6.1.5 离合器控制效果分析	91
6.2 换档过程机械变速系统的动力学建模与仿真	94
6.2.1 离合器的动力学分析模型	94
6.2.2 充油阶段的离合器动力学分析	95
6.2.3 转矩交换阶段的离合器动力学分析	99
6.2.4 转速同步阶段的离合器动力学分析	102
6.2.5 完全分离状态的离合器带排转矩计算	104
6.3 有动力升档控制原理分析	107
6.3.1 有动力升档控制基本原理	107
6.3.2 有动力升档不同控制方法原理	111
6.3.3 8AT 中有动力升档仿真分析	112
6.4 有动力降档控制原理分析	118
6.4.1 有动力降档控制基本原理	118
6.4.2 有动力降档不同控制方法原理	120
6.4.3 8AT 有动力降档仿真分析	121
6.5 无动力升档控制原理分析	123
6.5.1 无动力升档控制基本原理	123
6.5.2 无动力升档不同控制方法原理	125
6.5.3 8AT 无动力升档仿真分析	126
6.6 无动力降档控制原理分析	127
6.6.1 无动力降档控制基本原理	127
6.6.2 无动力降档不同控制方法原理	129
6.6.3 8AT 无动力降档仿真分析	130
6.7 本章小结	132

第 7 章 离合器到离合器换档过程基本控制策略 133

7.1 有动力升档控制策略	133
7.1.1 换档准备阶段控制策略	133
7.1.2 转矩相阶段控制策略	136
7.1.3 速度相阶段控制策略	137
7.1.4 换档结束阶段控制策略	137



7.1.5	有动力升档控制策略实车测试	138
7.2	有动力降档控制策略	140
7.2.1	换档准备阶段控制策略	141
7.2.2	速度相阶段控制策略	141
7.2.3	转矩相阶段控制策略	141
7.2.4	有动力降档控制策略实车测试	142
7.3	无动力升档控制策略	145
7.3.1	换档准备阶段控制策略	145
7.3.2	速度相阶段控制策略	145
7.3.3	转矩相阶段控制策略	146
7.3.4	无动力升档控制策略实车测试	146
7.4	无动力降档控制策略	149
7.4.1	换档准备阶段控制策略	150
7.4.2	转矩相阶段控制策略	150
7.4.3	速度相阶段控制策略	150
7.4.4	换档结束阶段控制策略	151
7.4.5	无动力降档控制策略实车测试	151
7.5	本章小结	153

第 8 章 换档过程中改变驾驶意图控制策略 154

8.1	改变驾驶意图控制策略总述	154
8.1.1	改变驾驶意图控制架构	154
8.1.2	Tip-in 及 Tip-out 识别方法	155
8.2	有动力升档改变驾驶意图控制策略	156
8.2.1	变速之前 Tip-in 控制策略	156
8.2.2	变速之前 Tip-out 控制策略	159
8.2.3	变速过程中 Tip-in 控制策略	161
8.2.4	变速过程中 Tip-out 控制策略	162
8.3	有动力降档改变驾驶意图控制策略	163
8.3.1	变速之前 Tip-out 控制策略	163
8.3.2	变速过程中 Tip-out 控制策略	165
8.4	无动力升档改变驾驶意图控制策略	167
8.4.1	变速之前 Tip-in 控制策略	167
8.4.2	变速过程中 Tip-in 控制策略	170
8.5	无动力降档改变驾驶意图控制策略	171
8.5.1	变速之前 Tip-in 控制策略	171
8.5.2	变速过程中 Tip-in 控制策略	173

8.6 本章小结	175
第9章 自动变速器自适应控制	176
9.1 自适应控制理论	177
9.1.1 自适应系统控制目标	177
9.1.2 自适应系统控制参数	178
9.1.3 自适应系统控制方法	179
9.2 自适应控制策略	180
9.2.1 有动力升档自适应策略	180
9.2.2 有动力降档自适应策略	184
9.3 自适应控制软件设计与测试	187
9.3.1 自适应控制软件实现原理	187
9.3.2 离合器过充油自适应	189
9.3.3 转矩交换时间自适应	192
9.3.4 输入轴转速飞车自适应	195
9.3.5 静态换档自适应	197
9.4 本章小结	200
第10章 自动变速器应用软件终端下线标定	201
10.1 EOL 台架的软硬件构架	202
10.1.1 机械设备构架	202
10.1.2 电器设备构架	203
10.1.3 测试软件构架	204
10.2 变速器测试规范定义	204
10.2.1 机械部分测试	205
10.2.2 液压部分测试	205
10.2.3 电控部分测试	205
10.2.4 变速器特性参数测试	206
10.3 变速器特性参数测试方法及优化	206
10.3.1 离合器电流压力特性测试试验优化	207
10.3.2 离合器转矩压力特性测试试验优化	210
10.3.3 离合器充油时间特性测试试验优化	213
10.3.4 液力变矩器闭锁离合器的接合点测试	215
10.4 整车充油时间自动标定测试方法	216
10.4.1 自动标定测试系统的硬件结构	216
10.4.2 车载数据采集系统的硬件结构	217
10.4.3 整车自动标定测试系统的软件结构	217



10.4.4 变速器充油时间自动测试方法 218
10.5 本章小结 220

第 11 章 自动变速器应用软件测试与量产发布 221

11.1 软件在环仿真 SiL 221
 11.1.1 软件在环仿真系统原理 221
 11.1.2 软件在环仿真系统测试 221
11.2 硬件在环仿真 HiL 225
 11.2.1 单闭环硬件在环仿真平台设计 225
 11.2.2 硬件在环仿真测试 228
11.3 软件评估 235
 11.3.1 软件功能及匹配性能主观评估 235
 11.3.2 软件功能及匹配性能客观评价 235
 11.3.3 软件运行效率评估 239
 11.3.4 软件可靠性评估 240
11.4 软件批量刷新 241
 11.4.1 刷新准备过程 241
 11.4.2 刷新过程 243
 11.4.3 刷新后处理 244
11.5 本章小结 244

参考文献 245



第 1 章

绪论

1.1 背景和意义

汽车自动变速器是集机、电、液、控于一体的汽车核心总成，是汽车行业公认的技术含量最高、工程化和产业化难度最大的汽车总成。自动变速器负责把发动机动力根据驾驶人的驾驶意图自动、高效、平顺地传递到车轮。自动变速器的性能与整车的动力性、燃油经济性、安全性、舒适性和操作便利性等密切相关，因此，自动变速器受到整车企业的高度重视，整车企业都把自动变速器技术作为其核心竞争力加以严格控制。

我国是世界第一大汽车产销国，但不是汽车强国，核心总成技术空心化是制约我国汽车工业由大变强的最大障碍。自动变速器就是我国汽车行业最大的软肋。我国自动变速器市场需求巨大，但技术以及市场被外资企业高度垄断。实现自动变速器的自主创新，是几代中国汽车人共同的梦想。

图 1-1 是近年来我国乘用车自动变速器市场占有率，可以看出，我国乘用车市场自动变速器市场占有率逐年增长。2015 年，自动变速器市场占有率首次超过 50%，达到 51%。如图 1-2 所示，2015 年我国自动变速器市场需求达到 1078 万台，超过 1500 亿元。然而据统计，我国自主生产的自动变速器市场占有率却不足 3%，自动变速器市场和技术被外资高度垄断。

自动变速器由机械系统、液压系统和电控系统三大系统组成^[1]。自动变速器电控系统及其应用软件开发是自动变速器研发的核心技术之一，是自动变速器控制及整车匹配的核心技术手段，贯穿于自动变速器开发的全过程。自动变速器应用软件开发的应用和推广，有利于实现发动机与自动变速器的通信和匹配、完善自动变速器换挡逻辑和控制策略、优化换挡离合器控制特性和换挡品质、覆盖自动变速器由于装配和制造所产生的不一致性，以及补偿里程累积导致的硬件性能衰减等，从而满足不同客户对自动变速器匹配车辆在整个产品生命周期内的动力性、经济性、舒适性和安全性要求。

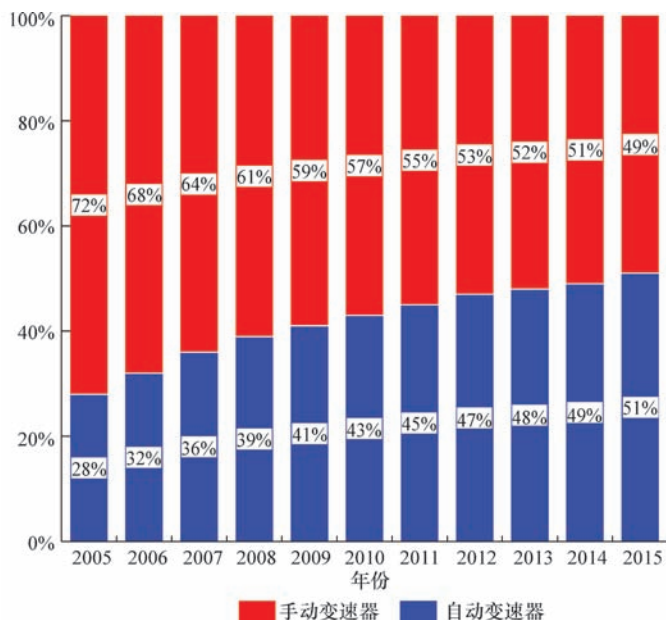


图 1-1 我国乘用车自动变速器市场占有率

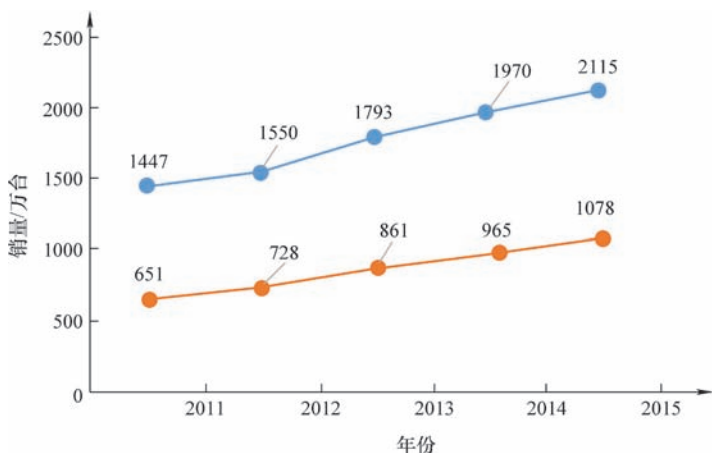


图 1-2 我国自动变速器市场需求量

近年来，随着计算机技术及汽车电子技术的高速发展，自动变速器电控系统及其应用软件功能和算法日臻完善，自动变速器控制方式从液力控制逐渐向电液控制、智能化控制转变，电子控制在控制系统中的比重逐渐提高。自动变速器正朝着高效、节能、安全、舒适和智能化的方向发展。自动变速器装车率显著提高，装配自动变速器、搭载先进智能控制系统的汽车受到消费者的普遍欢迎。

自动变速器市场巨大的客户需求和经济效益，催生了自动变速器自主研发的快速发展。虽然国内主机厂和变速器供应商都在加大技术力量进行自主研发，但多限于机械及液压系统设计或逆向开发，电控系统开发大多依赖国际知名工程化公司或汽车电子技术供应商来完成软件编写及标定开发，仍然处于发展阶段。目前市场上基于自动变速器需