

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

行星变速机构方案优选 理论与方法

徐向阳◎著

中国汽车工程学会前任理事长 付于武

中国汽车工程学会现任理事长 李骏

| 作序推荐

OPTIMIZATION THEORY AND
METHOD OF PLANETARY
TRANSMISSION MECHANISM SCHEME

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车技术创新与研发系列丛书

自动变速器行星变速机构方案 优选理论与方法

徐向阳 著

 **机械工业出版社**
CHINA MACHINE PRESS

传动方案设计是自动变速器或混合动力机电耦合系统研发的核心技术之一，也是其设计开发的第一步。传动方案的优劣直接决定了系统结构、性能和成本等关键技术指标。本书在系统总结前人研究成果的基础上，提出了4自由度行星变速机构方案综合和优选方法，该方法基于图论和矩阵理论，解决了变速机构方案综合中复杂组合数学问题的优化难题，提出了系统的模型和算法，并实现了方案综合和优选自动化，为自动变速器和混合动力机电耦合系统的传动方案设计原始创新提供了系统的理论、方法和工具。

本书提出的理论与方法既适用于多自由度行星齿轮变速机构，也适用于定轴齿轮变速机构或“行星齿轮+定轴齿轮”复合传动机构，还可以用于多动力源输入的混合动力机电耦合系统传动方案综合与优选。

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。本书还可以作为高等院校车辆工程专业大学生和研究生的参考教材。

图书在版编目（CIP）数据

自动变速器行星变速机构方案优选理论与方法 / 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）

ISBN 978-7-111-59967-8

I . ①自… II . ①徐… III . ①汽车 - 自动变速装置 - 研究 IV . ①U463.212

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 101943 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 谢 元

责任校对：肖 琳 责任印制：

印刷厂印刷

2018 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 11 印张 · 2 插页 · 184 千字

0 001— 册

标准书号：ISBN 978-7-111-59967-8

定价： 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

封面无防伪标均为盗版

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，我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总成技术和产品长期依赖国外，掌握自动变速器核心技术并实现自动变速器产业化成为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逐步破解，打破了国外的垄断格局。

《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，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，系统总结了获得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。专著的出版是继国

家科技进步一等奖之后，作者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。

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之一，也是国内众多企业亟须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列为重点支持发展的方向。专著的出版，对于汽车自动变速器、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并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

为实现中华民族的伟大复兴，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

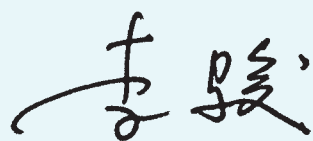
机构方案优选理论与方法，对于自动变速器、混合动力和插电式混合动力机电耦合机构、多档位电动汽车用自动变速器等的方案设计具有重要的指导意义。

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

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，汽车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，但其市场、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的共同梦想。

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，本人带领 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前置前驱 8 档自动变速器（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 3 个国家科技进步一等奖，也是汽车零部件获得的唯一的国家科技进步一等奖。

自动变速器行星变速机构传动方案设计是自动变速器设计开发的第一步，它直接决定了自动变速器的结构、成本和性能等关键经济技术指标，传动方案专利是跨国公司自动变速器知识产权保护最严密的内容，也是制约我国自动变速器技术发展的最主要因素之一。2002 年，德国采埃孚公司率先推出了国际上最先进的“前置前驱 6 档自动变速器（6AT）”，采用 3 自由度行星机构。随后日本爱信、美国通用等跨国公司先后研发出自己的前置前驱 6AT 产品，并对行星变速机构传动方案进行了系统的专利保护。为了突破国外专利封锁，实现我国自动变速器技术从空白到引领世界，必须跳出国外既有的 3 自由度行星变速机构方案设计方法，在 4 自由度乃至更多自由度的行星变速机构中，寻求更高档位、更优的传动方案。



为此，在 8AT 项目研发过程中，本人提出了 4 自由度行星变速机构方案优选理论和方法，该方法基于图论和矩阵理论，解决了变速机构方案综合中复杂组合数学问题的优化难题，提出了系统的模型和算法，并实现方案综合和优选的自动化，为自动变速器和混合动力机电耦合系统传动方案设计原始创新提供了系统的理论、方法和自动化软件工具。《自动变速器行星变速机构方案优选理论与方法》就是对这一研究成果的系统总结。

需要特别说明的是，本书提出的基本理论与方法不仅可用于多自由度行星齿轮变速机构方案综合与优选，还可用于定轴齿轮变速机构或“行星齿轮 + 定轴齿轮”复合传动机构方案综合与优选，以及多动力源输入的混合动力机电耦合机构的方案综合与优选。

北京航空航天大学交通科学与工程学院刘艳芳副教授，我的博士研究生马明月、孙汉乔等为自动变速器行星变速机构方案优选理论与方法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的感谢。

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、中国工程院院士暨中国汽车工程学会李骏理事长、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 项目关心和所有支持的所有国内外专家学者、配套企业、中央和地方政府、学会和协会等单位和组织表示特别的感谢！

特别感谢国家出版基金对本书出版提供的支持！

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 背景及意义	2
1.2 行星齿轮传动方案综合优选研究现状	6
1.2.1 国外研究现状	6
1.2.2 国内研究现状	8
1.3 混合动力方案构型研究现状	10
1.4 本书主要内容	11
参考文献	13
第2章 行星齿轮变速器构型优选方法概述	17
2.1 基于原有方案的优化设计法	18
2.2 线图分析法	19
2.3 构件分析综合法	23
2.4 杠杆分析综合法	24
2.5 本章小结	25
参考文献	26
第3章 行星齿轮变速机构方案特性分析	27
3.1 行星齿轮机构的结构特征	28
3.2 行星齿轮变速机构方案运动学分析	30
3.3 行星齿轮变速机构方案动力学分析	33
3.4 行星齿轮变速机构方案传动效率与功率流分析	36



3.4.1	行星齿轮变速机构功率计算	36
3.4.2	功率流分析	38
3.5	实例分析	38
3.6	本章小结	42
	参考文献	43
第4章	行星齿轮变速机构方案优选约束条件	44
4.1	行星齿轮变速机构方案性能约束条件	45
4.2	行星齿轮变速机构方案工程约束条件	46
4.3	行星齿轮变速机构方案结构约束条件	52
4.4	本章小结	56
第5章	行星齿轮变速机构方案综合方法	57
5.1	行星排向量综合	59
5.1.1	行星齿轮机构的自由度	59
5.1.2	行星齿轮机构编码定义	60
5.1.3	行星排向量综合方法	63
5.2	换档元件矩阵的综合	65
5.2.1	换档元件的定义	65
5.2.2	换档元件向量的遍历	67
5.2.3	换档元件矩阵的遍历	67
5.3	行星齿轮变速机构方案综合	69
5.3.1	结构矩阵的规范表示	70
5.3.2	排除不合理矩阵	72
5.3.3	同构方案检测	73
5.4	行星齿轮变速机构方案理论档位检测	75
5.4.1	理论档位的综合	76
5.4.2	理论档位的检测方法	77
5.5	多动力源输入的传动方案综合	84
5.6	本章小结	84
	参考文献	86
第6章	行星齿轮变速机构方案平面度检测方法	87
6.1	图论基本概念介绍	88
6.2	图模型的建立	88


6.2.1	壳体的图模型	89
6.2.2	行星排图模型	90
6.2.3	换档元件的图模型	91
6.2.4	元件连接模型	91
6.3	同名元件多重模型的综合	92
6.3.1	同名元件之间的连接方式综合	93
6.3.2	同名元件与换档元件之间的连接方式综合	93
6.3.3	行星齿轮机构图模型综合	94
6.4	行星齿轮机构图模型的矩阵表示	94
6.5	平面性检测算法	97
6.5.1	图的预处理与数据初始化	97
6.5.2	图模型平面性检测的实现	98
6.6	实例分析	102
6.7	本章小结	109
	参考文献	110
第 7 章 行星齿轮变速机构传动比优化设计		111
7.1	优化理论方法概述	112
7.1.1	动态规划算法	112
7.1.2	蚁群算法	113
7.1.3	粒子群算法	114
7.1.4	遗传算法	115
7.2	理想传动比序列的确定	116
7.3	目标函数的定义	121
7.4	设计变量的定义	124
7.5	约束函数的定义	125
7.6	传动比优化示例	126
7.6.1	实际传动比序列	128
7.6.2	换档逻辑的优化	129
7.6.3	建立传动比优化模型	130
7.6.4	优化模型的验证	132
7.7	本章小结	136
	参考文献	137
第 8 章 行星齿轮变速机构方案评价方法		138
8.1	评价指标定义	139



8.2 层次分析法概述	140
8.3 行星齿轮变速机构方案层次化优化评价模型.....	141
8.4 实例分析	143
8.5 本章小结	144
参考文献	145

第 9 章 4 自由度行星齿轮变速机构方案综合与优选软件应用 146

9.1 方案设计模型的工作流程	147
9.2 设计实例与结果分析	148
9.2.1 现有行星齿轮变速机构的方案设计	148
9.2.2 新的行星齿轮变速机构方案综合与优选	153
9.3 本章小结	164



第 1 章

绪 论

自动变速器行星变速机构方案
优选理论与方法



1.1 背景及意义

变速器作为汽车传动系统的核心零部件，自汽车诞生之日起就扮演着至关重要的角色。传统汽车多采用活塞式内燃机作为主要动力源，混合动力汽车则多由 1 台活塞式内燃机和一台或多台电机作为主要动力源。对于传统汽车，活塞式内燃机的转矩和转速不能直接满足汽车行驶时的各种工况要求，而混合动力汽车除此之外，还需要将多个动力源根据汽车行驶工况的要求，进行不同混合动力工作模式的耦合输出。因此，所有的汽车都需要变速器。变速器的主要作用如下^[1]：

1) 改变汽车传动系统的传动比，扩大驱动车轮转矩和转速范围，使汽车能够在各种行驶工况下，保证各个动力源（内燃机、电机）工作在最佳工况下。

2) 对于传统汽车，在内燃机输出转速方向不变的情况下，汽车可实现倒退行驶；对于混合动力汽车，实现内燃机与电机的动力耦合输出。

3) 改变汽车传动系统的动力传递路线，实现传统汽车的空档功能，以便内燃机平稳启动和怠速运转；实现混合动力汽车的动力分配功能，以便内燃机和电机之间实现动力转换（电机带动内燃机运转、内燃机带动电机发电、制动能量回收等）。

按照变速器操纵方式不同，传统汽车变速器分为手动变速器和自动变速器。相比于手动变速器，自动变速器可以将驾驶人从繁琐的换档操作中解放出来，缓解驾驶人的疲劳并提高驾乘舒适度。因此，在乘用车市场，自动变速器所占市场份额不断增加。从全球市场来看，美国的自动变速器市场占有率超过 90%；日本的自动变速器市场占有率在 85% 以上；欧洲的汽车消费者更追求驾驶感，其自动变速器市场占有率相对较低，大约是 30%，但也在逐年快速增加。从 2005—2015 年，中国乘用车自动变速器的年均增长率为 35%。2015 年中国乘用车市场自动变速器的配套率首次超过 50%，达到 51%，市场销量超过 1000 万台，市场规模超过 1500 亿元。随着消费者对驾乘舒适度要求的不断提高，预计未来几年，中国汽车市场将继续保持 10% 左右的增速，而自动变速器市场增速将维持在 20% 左右。

自动变速器作为机、电、液、控等多物理域零部件耦合系统，按照结构和工作原理可以划分为液力自动变速器（Automatic Transmission，简称 AT）、电控机械式自动变速器（Automated Mechanical Transmission，简称 AMT）、无级变速器（Continuously Variable Transmission，简称 CVT）和双离合器自动变速器（Dual

Clutch Transmission, 简称 DCT)。

图 1-1 为 2011—2015 年上述 4 种自动变速器在国内自动变速器市场的占比情况。其中,液力自动变速器占据了大部分传统自动变速器的市场份额。随着汽车市场的不断扩大,以及更加严苛的二氧化碳排放法规的出台,传统自动变速器技术正向多档化、更大的速比范围方向发展。更多的档位数和更大的速比范围会使内燃机能够最大限度地工作在最佳工作区间内,从而改善汽车的燃油经济性,降低二氧化碳的排放量。

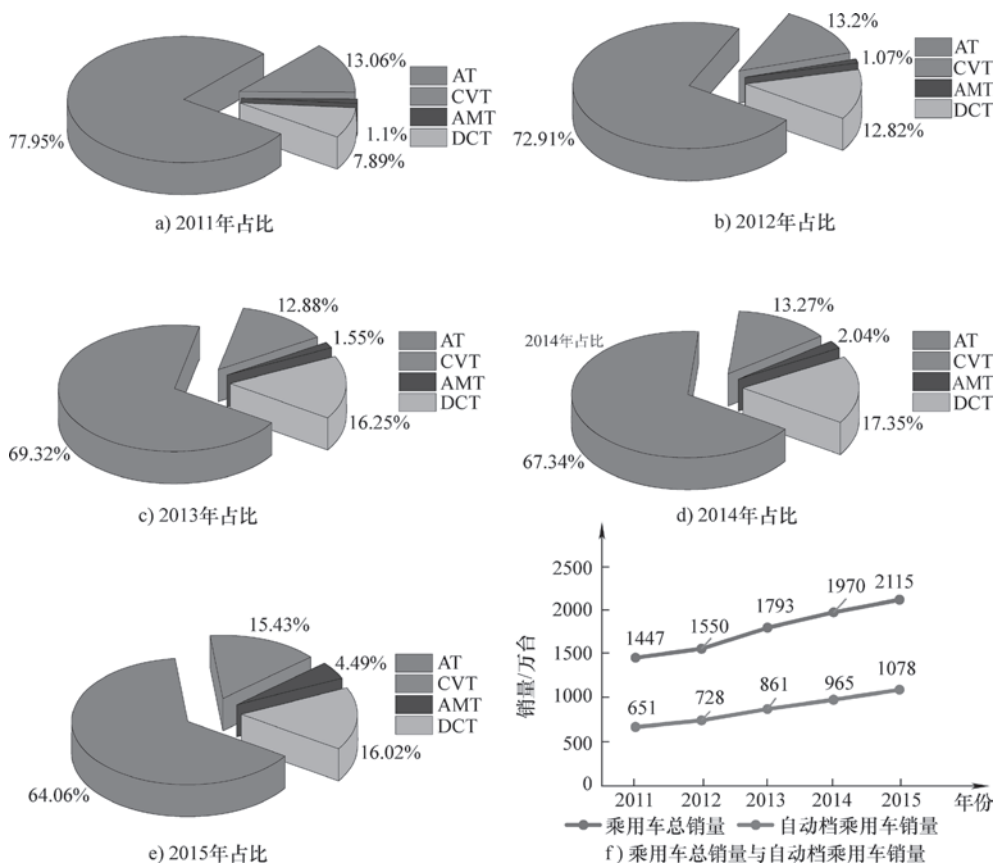


图 1-1 2011—2015 年不同技术路线自动变速器市场占比

为了使自动变速器更加适应时代的需要,全球各大变速器制造商都推出了多档位的自动变速器,如采埃孚公司在 2007 年和 2013 年先后推出纵置后驱应用的 8 档液力自动变速器 8HP70 和前置前驱的 9 档液力自动变速器 9HP48;日本爱信公司于 2007 年推出纵置后驱应用的 8 档液力自动变速器。北京航空航天大学徐向阳



教授团队与盛瑞传动股份有限公司合作，在徐向阳教授的带领下，于 2010 年开发出具有完全自主知识产权的世界首款前置前驱 8 档自动变速器（8AT），并实现了平台化、系列化的产品开发。“前置前驱 8 档自动变速器（8AT）研发及产业化”项目获得了 2016 年国家科技进步一等奖，这是迄今为止汽车行业获得的第 3 个国家科技进步一等奖，也是汽车零部件行业获得的唯一的国家科技进步一等奖，打破了国外的技术垄断，实现了我国自动变速器零的突破。2014 年，徐向阳教授带领 8AT 团队成功研发出世界首款前置前驱 13 档自动变速器（13AT），这也是迄今为止乘用车用最高档位的液力自动变速器。2016 年福特和通用汽车联合研发推出具有 10 个前进档的液力自动变速器。在双离合变速器方面，德国大众公司于 2008 年推出了 7 档双离合变速器，日本本田公司在 2014 年推出了 8 档双离合变速器。

如图 1-2 所示，多档位的自动变速器逐渐成为自动变速器市场的主流产品。然而随着档位不断增多，构成自动变速器的齿轮组和换档元件个数也随之增加，导致变速器重量和体积也在增加。为了解决这一问题，以行星齿轮传动为基础的液力自动变速器通过采用更多的自由度，在具有相同换档元件个数的条件下，可以获得更多的档位组合方案，减少空转换档机构数量，从而减小损失、提高传动效率。与定轴传动变速器相比，行星齿轮传动变速器具有以下优点^[2]：

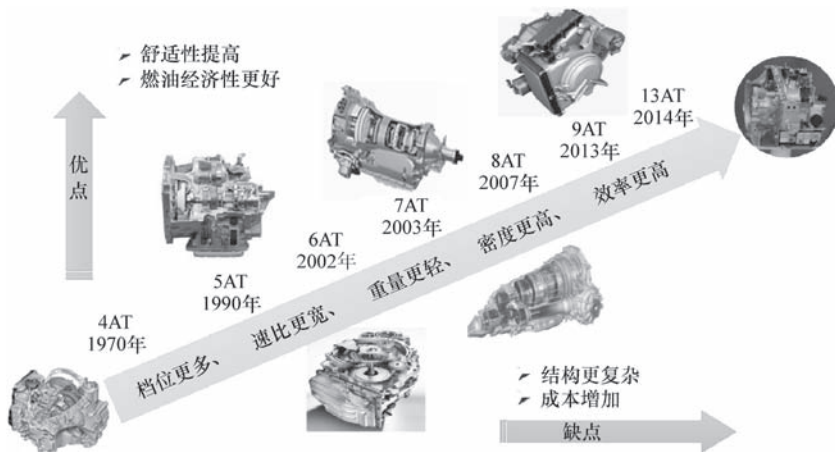


图 1-2 液力自动变速器档位数量及发展趋势

- 1) 传动效率高。
- 2) 在同样功率条件下，齿轮啮合应力小，振动噪声小，寿命长。
- 3) 功率密度高，结构紧凑，在相同的尺寸空间下可以实现更大的传动比。
- 4) 便于动力合成与分解，容易形成更多的档位，方便多动力源耦合，利于混