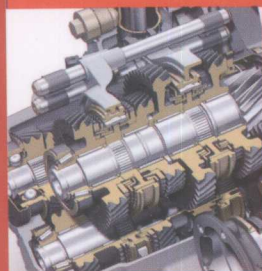




汽车先进技术译丛

 Springer

汽车变速器 理论基础、选择、 设计与应用



[德] Harald Nauenheimer 等著
宋进桂 龚宗洋 等译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

汽车先进技术译丛

· 014014525

U463.212
20

汽车变速器

理论基础、选择、设计与应用

[德] Harald Naunheimer 等著
宋进桂 龚宗洋 等译



U463.212
20

机械工业出版社



北航

C1701373

本书共分 17 章, 全面地叙述了汽车变速器的开发过程。内容主要包括: 交通-车辆-传动系统回顾、动力传递基础、传动比选择、汽车变速器系统的基本设计原理、汽车变速器的典型设计、重要部件(如换挡机构、起步元件、液压泵、缓速器)的布置与设计、变速器控制单元、产品开发过程、变速器制造技术、变速器的可靠性与测试等。内容涵盖乘用车和商用车的手动变速器(MT)、机械式自动变速器(AMT)、双离合变速器(DSG)、传统式自动变速器(AT)、无级变速器(CVT)和混合动力驱动装置。还涉及最终传动装置、动力输出轴和用于四轮驱动系统的分动器。

本书适合于汽车变速器领域的所有工程师和学生, 特别适合于变速器开发领域的从业者和资深工程师阅读, 是一本为变速器开发提供全部重要信息的参考书, 也是一本获得本领域重要文献资料的指南。

Translation from English language edition: Automotive Transmissions
by Harald Naunheimer, Bernd Bertsche, Joachim Ryborz and Wolfgang
Novak Copyright© 2011, Springer Berlin Heidelberg

Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media
All Rights Reserved

本书中文简体版由 Springer 出版社授权机械工业出版社独家出版
发行。

版权所有, 侵权必究。

北京市版权局著作权登记号: 01-2012-5193

图书在版编目(CIP)数据

汽车变速器理论基础、选择、设计与应用/(德)瑙海姆(Naunheimer, H.)等著;宋进桂等译. —北京:机械工业出版社, 2013. 11
(汽车先进技术译丛)

书名原文: Automotive Transmissions
ISBN 978-7-111-41515-2

I. ①汽… II. ①瑙…②宋… III. ①汽车-变速装置
IV. ①U463. 212

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 224706 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: 徐 巍 责任编辑: 徐 巍 刘 焯

版式设计: 霍永明 责任校对: 杜雨霏

封面设计: 鞠 杨 责任印制: 杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 35 印张 · 2 插页 · 783 千字

0001—3000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-41515-2

定价: 158.00 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

社服务中心 : (010)88361066

教材网 : <http://www.cmpedu.com>

销售一部 : (010)68326294

机工官网 : <http://www.cmpbook.com>

销售二部 : (010)88379649

机工官博 : <http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线: (010)88379203

封面无防伪标均为盗版

前 言

1953年, H. Reichenböcher写了第一本关于汽车变速器设计的书。在当时, 德国的汽车工业每年生产汽车(含轿车、厢式车、货车、大客车和牵引车-挂车组合车辆)490581辆。到1992年, 产量达到520万辆。当时的技术仅需要包含几个方面的内容, 因而Reichenböcher先生的书的内容也就仅限于变速器的基本类型、传动比级差的选择、齿轮组与轴、周转轮系、Föttinger离合器和液力传动装置。

车辆工程与机构设计技术始终在发生着变革。目前的技术状况可用下式表示:

环境——交通——车辆——变速器

诸如经济性、环境和使用情况这样的一些问题最为重要。变速器的使用性能以它对可用驱动力、燃油经济性和可靠性、使用寿命、噪声水平以及车辆的友好性的影响为特征。

有一些新技术现在必须予以考虑, 这些新技术与开发技术、材料技术, 特别是强度计算有关。工作疲劳强度计算, 特定的齿面校正, 壳体变形的考虑, 需要采用轻重量结构, 这些都是变速器新技术的例子。

变速器的设计工程已经因众多的变型而丰富多彩。手动双级中间轴式变速器(最好与纵置发动机匹配)和单级中间轴式变速器(最好与横置发动机匹配)现在都有许多变型。例如自动变速器、无级变速器、液力变矩器离合器变速器、双离合变速器和全轮驱动的传动装置。

发动机与变速器必须逐渐地作为一个装置来考虑。所用的术语有“动力装置匹配”和“发动机/变速器管理”。这只能通过覆盖既有发动机又有变速器的机械部件的集成电子管理系统来实现。20世纪60年代开发的系统性设计技术以及越来越多地采用计算机进行设计、仿真和工程(CAD), 正在导致越来越快的开发循环。这种趋势因竞争压力的作用而得以加强。在这方面, 系统性的产品规划是另一个重要因素。

因此, 必须为本书《汽车变速器》创建一个全新的结构。变速器的现代化新发展必须予以考虑。在变速器开发中, 问题具有多样性和涉及范围宽广, 这使得这本全新的《汽车变速器》的选材(特别是在主要的约束条件内进行选材)有些困难。并非每个主题都被涵盖。在那些已有确定文献介绍的地方, 作者本着简洁的选材原则。

本书的目的就是要介绍作为汽车发展系统中正在进行中的部分的机动车变速器的发展。只有通过积极地考虑这种相互联系, 才可能获得一种完全可行的变速器设计。目的是弄清传动装置、车辆和变速器(一个方面)与它们的功能特征(如齿轮的正确选择、适当的传动比级差、驱动力图、油耗、使用寿命和可靠性)(另一方面)之间的相互关联性。当然, 另一个受到关注的主要问题是将现代汽车变速器的各种各样的技术设计展现在合适的设计图上。

本书适合于汽车变速器领域的所有工程师和学生, 特别适合于变速器开发领域的

从业者和资深工程师阅读，是一本为变速器开发提供全部重要信息的参考书，也是一本获得本领域重要文献资料的指南。

没有众人帮助，本书不可能写成。我们非常感谢 Heidrum Schröpel 博士、Wolfgang Elser 先生、Ekkehard Krieg 博士、Winfried Richter 博士、Thmas Spörl 先生、Thilo Wagner 先生、Georg Weidner 博士和 Lothar Winkler 教授，对各章进行的研讨和修改。我们还希望感谢众多的助教和研究生在某些特定领域提供了重要的著作。

我们还希望感谢 Christine Häbich，是她对本书进行了高水平的编辑。我们还希望感谢 IMA（机械部件学院）的许多受雇员工和助教，是他们对本书的各个部分进行了检查与复审。

没有现行的实际图解，这样的一本书也是无法出版的。出版者希望感谢那些授权使用示图的公司：奥迪、Getrag、梅赛德斯-奔驰、欧宝、宝时捷（Dr-Ing. h. c. Porsche AG）和大众。我们特别感激 ZF（ZF Friedrichshafen AG）公司，他们对我们的无数次的索要图解资料的要求，总是最先给予回应。

我们还要感激 Springer-Verlag 出版公司出版本书。我们特别希望感谢 M. Hofmann，他的信心在此项目中从未动摇过。他为人和善，信心坚定，保证了本书的圆满完成。然后是 Merkle 博士对本书的印刷做了准备工作。我们还要对《设计工程丛书》系列图书的出版者 Gerhard Pahl 教授的毅力和提出建议表示感谢。我们特别感谢我们的家人给予的理解和支持。

Gisbert Lechner

Harald Naunheimer

1994年5月于斯图加特

第 2 版前言

《Automotive Transmissions》(汽车变速器)于1994年在德国首次出版。该书极受欢迎,因此我们决定在1999年出版该书的英文版。此后,汽车与变速器领域发生了许多变化。

汽车变速器开发的重要任务是改善驾驶性能;提高行驶舒适性和方便使用;提高可靠性和使用寿命;降低重量和减小安装空间;提升效率水平;树立品牌形象;降低成本;以及最重要的是降低燃油消耗和污染物排放。乘用车和商用车的市场以及市场运行机制不同,因此对这些要求的侧重点亦不同。一个共同之处就是各种不同的要求必须与相互矛盾的各种目标相适应。帮助解决目标矛盾的方法有:个体用途优化的变速器解决方案;子模块的高度集成;通过与车辆的其他部分连成网络的方式来引入更多的功能和形成超常功能。

对于乘用车,个性化设计的趋势已经导致许多车辆等级的分化。这样,通过采用个体化解决方案和具有竞争力的新概念,导致了变速器设计的多样性:手动变速器(MT)、机械式自动变速器(AMT)、双离合变速器(DCT)、传统式自动变速器(AT)、无级变速器(CVT)和混合动力驱动装置。1990年前的“黑与白”——手动与自动两分天下的局面已不复存在。对于商用车变速器,具有6~16个档,或采用单段式设计或采用多段式设计的齿轮传动变速器成为车辆的标准配置。在重型货车领域,AMT在欧洲已经获得成功。它们经历了从半自动设计到全自动的发展历程。通过将周围部件和子模块与变速器整合,使重量更轻,结构更紧凑,可靠性更高。

在汽车变速器领域的许多技术革新中,电学和电子学、执行器技术和传感器技术起了重要的作用。控制软件决定着变速器系统的许多功能能否实现,因此,也就决定着用户获益的程度。增加功能和与车辆其他部件联网,导致了汽车制造商与变速器制造商之间的责任链条的变化。

正确地评估市场、工程与技术领域的发展趋势已经显得极为重要。现在的任务是尽早地确定和判断出未来的需求,并以此为基础找到新的产品对策,并为市场开发和最终在维持高质量的同时,以低成本生产这些产品。本书的目的就是为完成这项任务提供所需要的某些工具。本书为读者展示汽车变速器的产品开发全过程。

第2版将汽车变速器的革新技术整合到第1版所建立的系统框架内。第2版中约40%的内容或为全新内容或充实了新的数据。当然,与第1版一样,本书的目的不是介绍最新发展或追求内容详尽,而是为读者提供思路和验证方法。对一些总体上有效而持久相关的理论原理和概念进行了解释。因此,除了流行的设计外,不再生产的变速器系统也被展现出来。

为了强化与现实的关联性,第2版还充实了来自不同领域的专家的研究成果。我们特别感谢他们:ZF公司的Hans-Jörg Dach(历史),Getrag公司的Christian Hoffmann

(乘用车 MT/AMT), 大众公司的 Michael Schäfer、Michael Kislat 和 ZF 公司的 Michael Ebenhoch (乘用车 DCT), 梅赛德斯-奔驰公司的 Christoph Dörr (乘用车 AT), ZF 公司的 Steffan Kilian (乘用车和商用车混合动力装置), 奥迪公司的 Peter Schiberna (乘用车 CVT), 梅赛德斯-奔驰公司的 Carsten Gitt (商用车 AMT), ZF 公司的 Karl Grad (商用车 CVT), ZF 公司的 Franz Joachim (齿轮传动), Uni Rostock (罗斯托克大学) 的 Karl Heinz Hirschmann (工作疲劳强度), 福特公司的 Martin Hildebrand (声学), ZF 公司的 Andreas Giefer (外部换档系统), ZF 公司的 Dietmar Frey (多片离合器), ZF Sachs 公司的 Benedikt Schauder (干式离合器), 博格-华纳 (Borg Warner) 公司的 Johannes Heinrich (湿式双离合), FAG 公司的 Oskar Zwirlein (轴承), Uni Stuttgart (斯图加特大学) 的 Werner Haas (密封件), Voith 公司的 Reinhold Pittius (缓速器), Magna Powertrain 公司的 Dieter Schmidl、Getrag 公司的 Andreas Allgöwer 和大众公司的 Hubert Gröhlich (全轮驱动), ZF 公司的 Josef Schwarz (变速器电子控制), ZF 公司的 Marco Plieske (计算工具), ZF 公司的 Friedemann Jauch (驾驶仿真), ZF 公司的 Christian Wagner (制造), 保时捷公司的 Peter Brodbeck (试验), 以及其他的给我们提出建议、支持我们的人们。

我们还要感谢给我们提供新型结构和现实结构示图的下列公司: 埃里森 (Allison)、奥迪、宝马、伯格-沃纳、伊顿 (Eaton)、Getrag、本田、LuK、Magna Powertrain、梅赛德斯-奔驰、欧宝、保时捷、丰田、Voith 和大众公司。特别感谢 ZF 公司, 对本书的出版给予极大的支持。

如果没有许多资料提供者的帮助, 此英文版的出版是不可能的。我们特别感谢项目经理兼协调员 Peter Fietkau 工程硕士, 特别感谢他的斯图加特大学机械部件学院的助教们。我们感谢 Springer-Verlag 出版公司的良好协作。我们还要特别感谢我们的家人, 在准备本书的三年期间的极大忍耐、理解和支持。

2002 年, 工学博士 Gisbert Lechner 教授去世。他是《汽车变速器》的英文版初版的发起人和作者。他的优秀著作作为我们所看到的第 2 版奠定了基础。

Harald Naunheimer, Joachim Ryborz, Bernd Bertsche, Wolfgang Novak

2010 年 5 月于腓特烈港和斯图加特

译者的话

汽车变速器是汽车传动系统的重要部件，它直接影响着汽车的动力性、燃油经济性、舒适性和操纵性、可靠性等现代汽车的重要性能，是决定汽车品质的重要因素之一，所以汽车变速器的设计当然地成为汽车制造商、汽车零部件供应商的重点任务之一。制造商必须尽可能早地确定和判断出未来的需求，找到新的产品对策，为市场开发和生产高质量、低成本的变速器产品。《汽车变速器基础理论、选择、设计及应用》一书的目的就是要为完成这项任务提供需要的工具。

本书英文版（第2版）由德国 Springer 出版公司于2011年出版，为读者展示汽车变速器的产品开发全过程，是一本很好的变速器设计参考书。

本书主要内容：汽车变速器系统的基本设计原理、传动比选择、汽车变速器的典型设计、重要部件（如换档机构、起步元件、液压泵、缓速器）的设计、变速器控制单元、产品开发过程、变速器制造技术、变速器的可靠性与测试等。内容涵盖乘用车和商用车的手动变速器（MT）、机械式自动变速器（AMT）、双离合变速器（DSG）、传统式自动变速器（AT）、无级变速器（CVT）和混合动力驱动装置，还涉及最终传动装置、动力输出轴和用于四轮驱动系统的分动器。

本书为变速器开发人员提供了全部重要信息，特别适合于汽车变速器领域的所有工程师和学生阅读。

参与本书翻译的有龚宗洋（翻译第9、13、14、17章）、宋进桂、于洋、于京诺、李忠昭、尤从华、宋金强、刘晓露、张茂林、李超凡、高家华、何栋梁、倪振、殷铭、刘绪、楚玉敏等（翻译其余各章）。由于译者水平所限，书中定有不妥和错误之处，请读者朋友批评指正。

本书翻译中得到了机械工业出版社汽车分社、鲁东大学交通学院和苏州博泰测控技术有限公司等单位的大力支持，在此深表谢意。

译者

目 录

前言

第2版前言

译者的话

第1章 绪论	1	2.3.3 汽车传动系的功能	41
1.1 引言	1	2.3.4 旋转方向、传动比和转矩的 相互关系	42
1.2 汽车变速器发展史	5	2.3.5 道路分布、载荷循环频次 分布、汽车典型用途和驾驶 人类型	45
1.2.1 基础性技术创新	5	2.4 汽车传动装置的基本性能和 特征	46
1.2.2 汽车与传动装置的发展	7	2.4.1 传动系的使用寿命和 可靠性	46
1.2.3 汽车变速器的几个发展 阶段	8	2.4.2 中心距特征值	48
1.2.4 齿轮传动零件和变速器其他 零件的发展	17	2.4.3 变速器质量特征值	49
1.2.5 液力变矩器和离合器的 发展	20	2.4.4 变速器成本特征值	50
1.2.6 现象研究:传动损失与 效率	21	2.4.5 变速器噪声	51
1.2.7 历史回顾	22	2.4.6 变速器的损失与效率	51
第2章 交通-车辆-传动系统 回顾	24	2.5 变速器设计的趋势	52
2.1 交通与车辆工程的基本原理	24	第3章 动力传递基础	57
2.1.1 汽车在我们的流动世界中的 重要意义	25	3.1 功率需求	57
2.1.2 交通工程的走势	28	3.1.1 车轮阻力	57
2.1.3 旅客和货物运输系统	30	3.1.2 附着力、动态车轮半径和 滑移率	59
2.1.4 替代的运输概念	33	3.1.3 空气阻力	60
2.2 汽车、变速器和零件市场与 开发	34	3.1.4 坡度阻力	62
2.2.1 市场状况与产量	35	3.1.5 加速阻力	63
2.2.2 发展情况	37	3.1.6 总行驶阻力	63
2.3 汽车与传动工程的基本要素	38	3.1.7 效率图	65
2.3.1 汽车与汽车用途的系统 分类	38	3.2 原动机的多样性	67
2.3.2 汽车为什么需要变速器	39	3.2.1 概述	67
		3.2.2 使用电能存储装置的电驱动 装置	68
		3.2.3 使用燃料电池的电驱动 系统	69
		3.2.4 混合动力驱动系统	70
		3.3 功率输出与内燃机特性	74

3.3.1 发动机转矩/速度特性	74	第6章 汽车变速器系统的基本 设计原理 109		
3.3.2 发动机阔度与节气门图	75			
3.3.3 油耗特性图	76			
第4章 功率转换: 传动比选择	78			
4.1 传动系	78			
4.2 总传动比和传动比阔度	79			
4.2.1 传动比阔度	80			
4.2.2 传动系最大传动比 $i_{A,max}$ 的 选择	81			
4.2.3 传动系最小传动比 $i_{A,min}$ 的 选择	82			
4.2.4 最终传动比	84			
4.3 中间传动比的选择	84			
4.3.1 车速/发动机转速图	85			
4.3.2 几何速比级差	85			
4.3.3 渐变速比级差	87			
4.4 无级变速器传动比的变化	87			
第5章 发动机与变速器的匹配	89			
5.1 驱动力图	90		6.1 变速器在汽车上的布置	109
5.1.1 绘制驱动力图(举例)	92		6.1.1 乘用车	109
5.1.2 发动机制动力	93	6.1.2 商用车	112	
5.1.3 采用干式离合器的齿轮式 变速器	95	6.1.3 全轮驱动乘用车	115	
5.1.4 采用液力变矩器的齿轮式 变速器	95	6.1.4 全轮驱动横向与纵向动 力学	118	
5.2 车辆性能	97	6.2 变速器的型式与结构	119	
5.2.1 最高转速	97	6.2.1 变速器型式	119	
5.2.2 爬坡能力	98	6.2.2 变速器结构	119	
5.2.3 加速性能	99	6.3 变速器基本概念	121	
5.3 燃油消耗	99	6.3.1 有动力中断的换档	121	
5.3.1 通过计算确定燃油消耗 (举例)	100	6.3.2 无动力中断的换档	122	
5.3.2 通过测量确定燃油消耗	101	6.3.3 无动力中断的无级变速器	122	
5.3.3 降低燃油消耗	103	6.4 定轴轮系、中间轴变速器和周 转轮系	123	
5.3.4 无级变速器	104	6.5 部件功能的解决方法—— 评价	125	
5.4 排放	105	6.6 乘用车变速器	127	
5.5 传动系统动态特性—— 舒适性	107	6.6.1 乘用车手动变速器(MT)	129	
		6.6.2 乘用车机械式自动变速器 (AMT)	133	
		6.6.3 乘用车双离合变速器 (DCT)	134	
		6.6.4 乘用车自动变速器(AT)	136	
		6.6.5 乘用车混合动力驱动	142	
		6.6.6 乘用车无级变速器(CVT)	145	
		6.7 商用车变速器	148	
		6.7.1 商用车手动变速器(MT)	150	
		6.7.2 商用车机械式自动变速器 (AMT)	161	
		6.7.3 商用车变矩器-离合器变速器 (TCCT)	165	
		6.7.4 商用车自动变速器(AT)	168	
		6.7.5 商用车混合动力驱动装置	169	
		6.7.6 商用车无级变速器 (CVT)	171	
		6.8 最终传动装置	173	

6.8.1 乘用车主减速器	173	8.3.4 剪切力和弯矩图	223
6.8.2 商用车主减速器	175	8.3.5 危险截面	225
6.8.3 差速器与锁止差速器	176	8.3.6 应力	225
6.8.4 商用车的轮边减速器	181	8.3.7 初定轴径	227
6.8.5 分动器	181	8.3.8 耐久强度设计	228
6.9 动力输出轴	183	8.3.9 疲劳强度设计	228
第7章 汽车齿轮式变速器的		8.3.10 轴的常用材料	229
设计	185	8.4 变形计算	230
7.1 齿轮性能极限	185	8.5 变速器轴的设计流程	231
7.1.1 齿轮破坏的原因与破坏		第9章 换档装置	233
形式	187	9.1 换档元件分类	234
7.1.2 齿根承载能力计算	189	9.1.1 动力中断变速器换档元件 ..	235
7.1.3 点蚀承载能力计算	190	9.1.2 无动力中断的变速器换档	
7.1.4 胶合承载能力计算	192	元件	237
7.2 估计中心距	192	9.1.3 线控换档	239
7.3 估计齿宽	194	9.2 同步器设计及布置	240
7.4 工作疲劳强度和使用寿命	195	9.2.1 同步器功能需求	240
7.4.1 Wöhler 曲线	197	9.2.2 同步过程	243
7.4.2 载荷累积频次分布与		9.2.3 同步器设计	247
计数法	198	9.2.4 同步器润滑系统	256
7.4.3 损伤积累理论	201	9.2.5 工程设计	258
7.5 低噪声变速器的开发	205	9.2.6 可供选择的变速器同步器 ..	261
7.5.1 变速器噪声及其起因	206	9.2.7 细节问题	262
7.5.2 噪声是怎样到达耳朵的 ..	209	9.3 多片离合器布置和设计	262
7.5.3 噪声评价标准	210	9.3.1 多片离合器需求	264
7.5.4 对策	213	9.3.2 换档过程	264
第8章 轴的技术要求与设计	216	9.3.3 多片离合器设计	266
8.1 汽车变速器的典型要求	216	9.3.4 多片离合器润滑系统	270
8.1.1 汽车变速器轴的结构	216	9.3.5 工程设计	272
8.1.2 考虑应力和强度而进行的		9.3.6 细节问题	276
设计	216	9.4 驻车锁止	278
8.1.3 挠度	217	9.4.1 机械驱动的驻车锁止	278
8.1.4 振动问题	218	9.4.2 电控驻车锁止系统	280
8.2 一般设计准则	218	9.4.3 细节问题	280
8.3 变速器轴的强度计算	219	第10章 起步元件	282
8.3.1 受力分析	220	10.1 干式离合器	284
8.3.2 轴承反力	222	10.1.1 干式离合器的结构	284
8.3.3 空间梁的弯曲	222	10.1.2 干式离合器的设计	292

10.1.3 干式多片离合器	294	11.5.2 旋转零件的密封件	351
10.2 湿式离合器	295	11.5.3 往复运动圆形零件的密封件	353
10.3 双离合器	296	11.5.4 实例	354
10.4 液力偶合器与液力变矩器	299	11.5.5 检测泄漏的最终检查	355
10.4.1 原理	300	11.6 车辆连续作用行车制动器	355
10.4.2 液力偶合器及其特性曲线	302	11.6.1 定义	356
10.4.3 液力变矩器及特性曲线	303	11.6.2 发动机制动系统	356
10.4.4 发动机与液力变矩器联合工作	305	11.6.3 缓速器	357
10.4.5 液力变矩器的实际设计	309	11.6.4 控制与使用	361
10.4.6 工程设计	309	第 12 章 汽车变速器的典型设计	363
10.4.7 提高效率的设计原理	312	12.1 乘用车变速器	363
第 11 章 其他结构元件的设计与配置	319	12.1.1 乘用车手动变速器 (MT)	364
11.1 轴承	319	12.1.2 机械式自动变速器 (AMT)	374
11.1.1 滚动轴承的选择	320	12.1.3 乘用车双离合变速器 (DCT)	377
11.1.2 滚动轴承的设计	322	12.1.4 乘用车自动变速器 (AT)	381
11.1.3 滚动轴承的结构	324	12.1.5 乘用车混合动力驱动装置	388
11.1.4 滑动轴承——衬套与推力垫片	326	12.1.6 乘用车无级变速器 (CVT)	390
11.2 变速器的润滑与润滑剂	328	12.2 商用车变速器	395
11.2.1 轴承的润滑	329	12.2.1 商用车手动变速器 (MT)	396
11.2.2 齿轮机构润滑原理	329	12.2.2 商用车机械式自动变速器 (AMT)	403
11.2.3 润滑剂的选择	331	12.2.3 商用车液力变矩器-离合器变速器 (TCCT)	410
11.2.4 润滑剂特性的选择	331	12.2.4 商用车自动变速器 (AT)	414
11.2.5 汽车变速器的终生润滑	333	12.2.5 商用车混合动力驱动装置	417
11.2.6 变速器润滑剂的抗擦伤能力试验	334	12.2.6 商用车无级变速器 (CVT)	418
11.3 供油与油泵	335	12.3 最终传动装置	419
11.3.1 供油	335	12.3.1 乘用车车桥传动装置	419
11.3.2 油泵	337	12.3.2 商用车车桥和轮毂传动装置	421
11.3.3 若干细节问题	342	12.3.3 差速器与锁止式差速锁	425
11.4 变速器壳体	343		
11.4.1 变速器壳体的设计	343		
11.4.2 变速器通风	345		
11.5 变速器密封	348		
11.5.1 静止零件的密封件	348		

12.4 全轮驱动与分动器	428	16.2.2 铸件加工	475
第13章 变速器电子控制	439	16.3 齿轮加工工艺链	475
13.1 网络化系统	439	16.3.1 软加工法	476
13.2 变速器电控单元 (TCU)	440	16.3.2 硬加工法	477
13.2.1 TCU 结构	440	16.4 薄金属板加工的工艺链	478
13.2.2 工作条件和安装技术	441	16.4.1 板材分离	478
13.3 控制系统	442	16.4.2 板材成形	479
13.3.1 变速器执行器	443	16.5 制造与工厂管理	479
13.3.2 离合器执行器	443	16.5.1 工作准备与计划	479
13.3.3 变速器控制功能	444	16.5.2 生产系统	480
13.3.4 软件	446	16.5.3 生产中的统计过程控制	480
13.3.5 变速器控制系统更多的 例子	447	第17章 汽车变速器的可靠性及 试验	483
13.4 车辆规格数据软件输入的变速 器标定	448	17.1 可靠性理论原理	484
第14章 计算机辅助变速器开发	450	17.1.1 可靠性的定义	484
14.1 原则和工具	451	17.1.2 零部件故障的统计描述和 表现	484
14.2 驾驶仿真	453	17.1.3 利用威布尔分布进行故障 行为的数学描述	486
14.2.1 车辆纵向动力学仿真	454	17.1.4 系统可靠性	489
14.2.2 道路数据设置/采集	456	17.1.5 系统可用性	490
第15章 汽车变速器的开发过程	458	17.2 汽车变速器的可靠性分析	490
15.1 产品的寿命周期	459	17.2.1 系统分析	491
15.2 产品策略与产品规划	460	17.2.2 可靠性定性分析	493
15.3 产品开发过程的各个发布 阶段	461	17.2.3 可靠性定量分析	494
15.4 设计过程与系统设计	463	17.3 确保可靠性试验	496
第16章 变速器制造技术	471	17.3.1 汽车变速器试验项目的 分类	498
16.1 钢质零件加工的工艺链	472	17.3.2 试验台架	500
16.1.1 软加工法	472	17.3.3 台架试验仿真	501
16.1.2 热处理法	472	参考文献	504
16.1.3 硬加工法	473	术语与符号	538
16.2 铸件加工的工艺链	473		
16.2.1 铸造方法	474		

每一种运载工具都离不开变速器!

1.1 引言

为了改变发动机转矩和转速，所有的运载工具，包括飞行器和船只，都需要装有变速器。变速器可按其功能和用途不同进行区分，即包括选档型变速器、转向机箱和动力输出装置。本书仅涉及道路车辆和为道路和非道路用途而设计的车辆所用的变速器（见图1-1）。

图1-2给出了一些常见的变速器设计及其系统分类。详细介绍见第6章“汽车变速器系统”。由于操纵和功能与带有各种不同传动比的自动变速器具有相似性，所以双离合变速器也被认定为自动变速器。

变速器的任务是将动力装置获得的牵引力进行变换，从而满足车辆、道路、驾驶人和环境的要求。这样，技术和经济方面的竞争力就显得极为重要。除了乘用车和商用车的驾驶性能和运输效能之外，变速器对于车辆的可靠性、油耗、操纵方便性和道路安全性影响最大（见图1-3）。

汽车变速器是高技术水平和工艺水平的大批量生产的产品。它们属于高技术、高价值的产品（见图1-4）。最令人吃惊的是商用车变速器，除了具有更多的传动比外，它的比功率（以kW/kg为单位）已达到工业变速器的三倍（见表1-1）。当然，工业变速器必须设计有较长的使用寿命。



图1-1 本书对所用的“汽车变速器”的定义

变速器类型												
z档变速器 (带有z个前进档的齿轮式变速器)								无级变速器(CVT)				
手动变速器(MT)		机械式自动变速器(AMT)		带有不同传动比的自动变速器			带有电动机的混合动力驱动装置		机械式无级变速器		静液无级变速器	
常啮合变速器	同步啮合变速器	半自动常啮合或同步啮合变速器	全自动常啮合或同步啮合变速器	双离合变速器(DCT)	中间轴式自动变速器	传统式自动变速器(AT)	串联混合动力驱动装置	并联混合动力驱动装置	混联式混合动力驱动装置	带轮式变速器	超环面变速器	液压传动装置
有动力中断				无动力中断(动力换挡)								
用脚操纵离合器起步				自动起步								
手动换挡				自动换挡				转矩和转速自动变换				

图 1-2 汽车变速器的系统分类

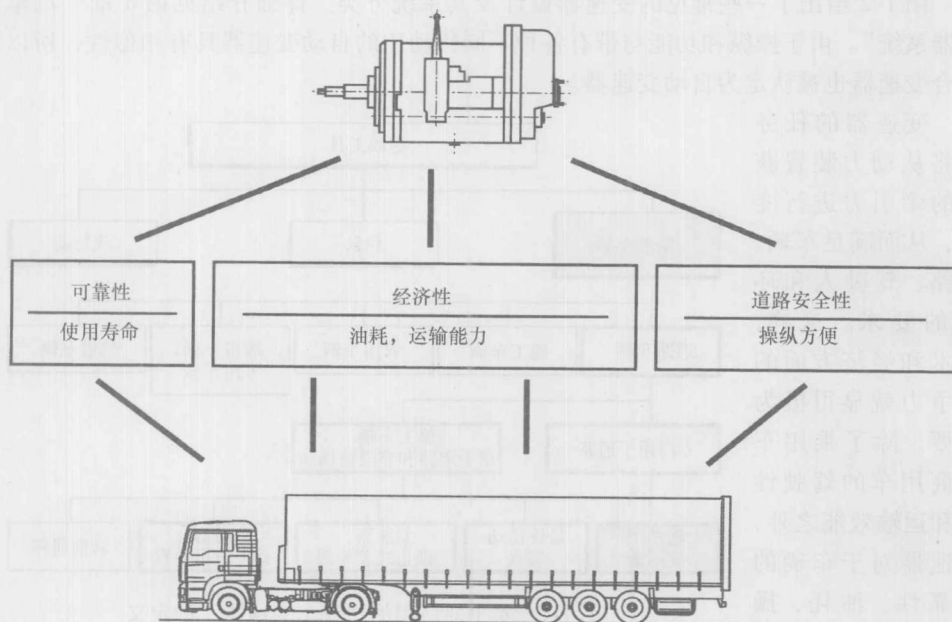


图 1-3 变速器对车辆基本贡献的影响

在汽车变速器领域，技术革新不再被期待。确实，我们正在目睹变速器的逐渐演变过程。这个过程的特征是，系统地考虑“环境-交通-车辆-发动机/变速器”系统中的各个因素，以及将电子装置用于操纵、控制和监视过程。图 1-5 列举出了由于这些趋势所导致的汽车变速器的超乎寻常的设计目标。

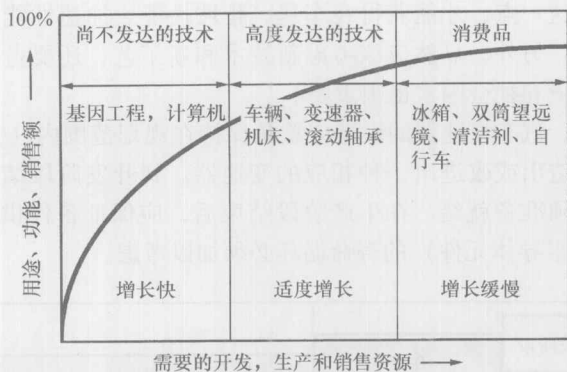
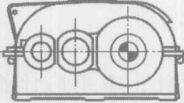
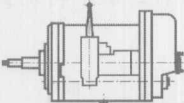
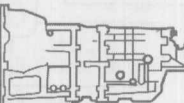


图 1-4 通过增加开发投入而获得的产品实用价值的增长情况

表 1-1 工业变速器与汽车变速器的比较

变速器	档位数 (前进档)	1 档传动比/ 传动比范围	功率/kW	输入转矩/ N·m	质量/kg	比功率/ (kW/kg)
工业变速器 	1	12.5	330	2100	680	0.48
商用车变速器 (AMT) 	16	14.1 17.0	397	2600	266	1.49 300%
乘用车变速器 (MT) 	6	4.2 5.1	294	500	46	6.39 1300%

汽车变速器的开发必须速度快，并以市场为导向。特别是在商用车的情况下，用户的爱好必须予以灵活地考虑。法规的要求（例如 kW/t 数规定和排放政策）必须得到满足。另外，像驾驶乐趣这样的情感因素也必须予以考虑。

设计汽车变速器时的主要设计目标是：在宽广的车速范围上，实现从发动机动力向汽车驱动力的最

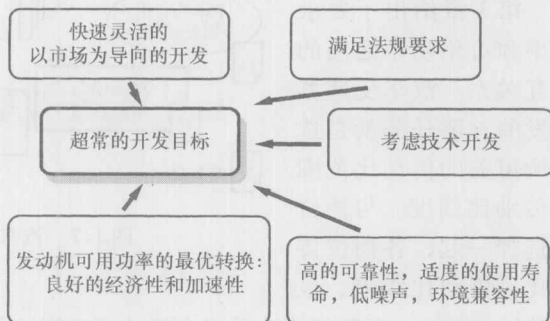


图 1-5 汽车变速器的超常的设计目标

优转换。必须做到这一点，才能获得在车速、爬坡性能、加速性能以及燃油经济性之间综合平衡的性能。另外，显然应该考虑新技术和新工艺，还要考虑可靠性和使用寿命。此外，考虑环境和社会因素也很重要。

对于新车来说，汽车变速器的设计应总是保持在规划范围内（见图 1-6）。在新车开发阶段，必须创造出或改进出一种相应的变速器。到开发阶段结束时，用于批量生产的制造新工艺必须准备就绪。在生产阶段结束后，应保证备件供应。为此，对附加的零件（其中包括半导体元件）的寿命循环必须加以考虑。

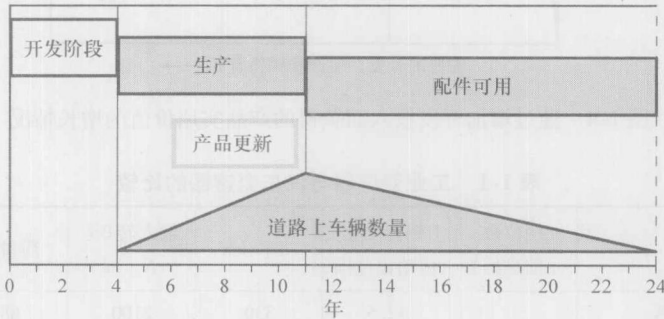


图 1-6 汽车工业中的时间维度与规划范围（摘自文献 [1.1]）

本书的宗旨是展现汽车变速器开发的总体过程（见图 1-7）。因此，本书应该给出零件设计以外的思维方式。无论手头有哪种产品，对后面将继续采用该产品的整个系统进行评价与分析肯定是必要的。这样的系统评价分析必不可少，第 2 章中将对此予以介绍。

车辆、发动机和道路类型对汽车变速器会产生决定性影响。对这些因素没有基本了解，不可能取得有意义的开发成果。

第 3 章给出了要求功率和可用功率之间的相互关系。汽车变速器开发的首要任务就是选择所覆盖的传动比范围即传动比跨度。与档位数选择一起，各档位传动比、传动比级差、最终传动传动比、车辆与传动系统之间的相互影响都可以估算和确定下来。依据道路类型，必须决定车辆是否具有足够的加速性，爬坡能力是否达到要求，是否获得最高车

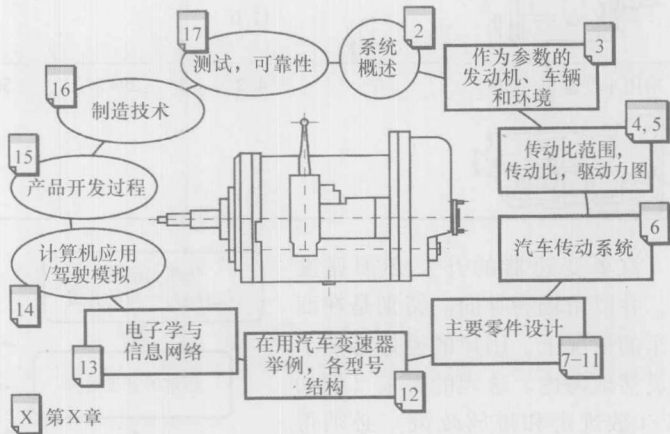


图 1-7 汽车变速器开发中的各项任务