

21世纪全国高职高专
汽车检测与维修专业教材

汽车自动变速器原理与维修

陈慧岩 主编

中国劳动社会保障出版社

版权所有

翻印必究

图书在版编目(CIP)数据

汽车自动变速器原理与维修/陈慧岩编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2002

21世纪全国高职高专汽车检测与维修专业教材

ISBN 7 - 5045 - 3371 - 8

. 汽...

. 陈...

. 汽车 - 自动变速装置 - 理论 - 高等学校: 技术学校 - 教材 汽车 - 自动变速装置 - 车辆修理 - 高等学校: 技术学校 - 教材

. U472.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 003039 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出版人: 张梦欣

*

印刷厂印刷 新华书店经销

787 毫米 × 1092 毫米 16 开本 11 印张 270 千字

2002 年 6 月第 1 版 2002 年 6 月第 1 次印刷

印数: 册

定价: 21.00 元

读者服务部电话: 64929211

发行部电话: 64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

内 容 提 要

本书是高等职业院校汽车检测与维修专业的教学用书。

本书详细介绍了汽车自动变速器方面的知识和技能,内容包括液力变矩器的结构与原理、齿轮变速机构的结构与原理、液压控制系统、换挡执行器、自动变速器控制系统、典型自动变速器、自动变速器的故障诊断与维修等。

本书的编写面向汽车检测与维修专业的工作实际,是高等职业院校汽车检测与维修专业的必备教材,还可供从事汽车设计、运用与维修工作的有关人员参考。

本书由陈慧岩主编,姜正根主审。

前 言

我国高等职业技术教育是改革开放的产物,是社会经济发展对职业教育提出的更高层次的要求,是中等职业教育的继续和发展。为了进一步适应经济发展对高等技术应用型人才的需求,国家正在理顺高等职业教育、高等专科教育和成人高等教育三者(简称为高职高专教育)的关系,力求形成合力,将目标统一到培养高等技术应用型人才上来。

为了贯彻落实党中央、国务院关于大力发展高等职业教育、培养高等技术应用型人才的指示精神,解决高等职业教育缺乏通用教材的问题,劳动和社会保障部教材办公室从1999年下半年开始,组织部分高校编写了“21世纪全国高职高专专业教材”。这套教材具有三大特点:为高等职业教育、高等专科教育和成人高等教育“三教”的整合与升级服务;体现高职高专教育以培养高等技术应用型人才为宗旨,使学生获得相应职业领域的职业能力;以专业教材为主,突出以应用技术、创造性技能和专业理论相结合为特色。目前我们已出版的高职高专专业教材有机械类、电工类和医学美容、汽车检测与维修、国际贸易、建筑装饰、物业管理等专业的教材,今后还将陆续开发计算机技术、电子商务、机电一体化、数控技术等10余个专业的教材。力争逐步建立起涵盖高职高专各主要专业,符合市场要求,满足经济建设需要的高职高专院校专业教材体系。

在本套教材的编写工作中,我们注意了以下两点:一是目标明确。立足于高等技术应用类型的专业,以培养生产建设、三产服务、经营管理第一线的高等职业技术应用型人才为根本任务,以适应经济建设的需求。二是突出特色。教材以国家职业标准为依据,以培养技术应用能力为主线,全面设计学生的知识、职业能力和培养方案,以“适用、管用、够用”为原则,从职业分析入手,根据职业岗位群所需的知识结构来确定教材的具体内容,在基础理论适度的前提下,突出其职业教育的功能,力争达到理论与实践的完美结合,知识与应用的有机统一,以保证高职高

专教育目标的顺利实现。

编写这套适用于全国高职高专教育有关专业的教材既是一项开创性工作,又是一项系统工程,参与编写这套系列专业教材的各有关院校的专家们,为此付出了艰辛的努力,谨向他们表示感谢。同时由于缺乏经验,这套教材难免存在某些缺点和不足,在此,我们恳切希望广大读者提出宝贵意见和建议,以便今后修订并逐步完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2001年9月

目 录

第一章 传动系统	(.1)
§ 1—1 传动系统的组成与功用	(1)
§ 1—2 自动变速装置的类型和应用	(7)
§ 1—3 自动变速装置的优缺点	(11)
第二章 液力变矩器的结构与原理	(12)
§ 2—1 液力偶合器的结构与工作原理	(12)
§ 2—2 液力变矩器的结构与工作原理	(14)
§ 2—3 改变液力变矩器性能的措施	(17)
§ 2—4 液力变矩器的使用与维修	(23)
第三章 齿轮变速机构的结构与原理	(26)
§ 3—1 齿轮传动的一般规律	(26)
§ 3—2 平行轴式齿轮变速机构	(27)
§ 3—3 行星齿轮结构和工作原理	(30)
第四章 液压控制系统	(.48)
§ 4—1 液压泵	(.48)
§ 4—2 控制机构	(.51)
§ 4—3 冷却、润滑和锁止系统	(62)
§ 4—4 典型液压系统	(.65)
第五章 换挡执行器	(.76)
§ 5—1 片式离合器	(.76)
§ 5—2 制动器	(.78)
第六章 电控自动变速器	(.82)
§ 6—1 电控自动变速器的基本工作原理	(82)
§ 6—2 传感器	(.85)
§ 6—3 电磁阀	(.92)
§ 6—4 控制策略	(.93)

第七章 典型自动变速器	(101)
§ 7—1 日本丰田公司自动变速器	(101)
§ 7—2 美国通用公司自动变速器	(108)
§ 7—3 德国大众公司自动变速器	(127)
第八章 自动变速器的故障诊断与维修	(134)
§ 8—1 自动变速器的保养	(134)
§ 8—2 自动变速器的故障诊断	(141)
§ 8—3 自动变速器的维修	(150)

第一章 传动系统

§ 1—1 传动系统的组成与功用

一、组成

传动系的组成及其在汽车上的布置形式，取决于发动机的形式和性能、汽车总体结构形式、汽车行驶系及本身的结构形式等许多因素。目前广泛应用于普通双轴货车上，并与活塞式内燃机配用的机械式传动系的组成及布置形式一般如图 1—1 所示。发动机纵向安装在汽车前部，并且以后轮为驱动轮。图中有标号的部分为传动系。发动机的动力依次经过离合器 1、变速器 2，由万向节 3 和传动轴 8 组成的万向传动装置，以及安装在驱动桥 4 中的主减速器 7、差速器 5 和半轴 6 传到驱动轮。

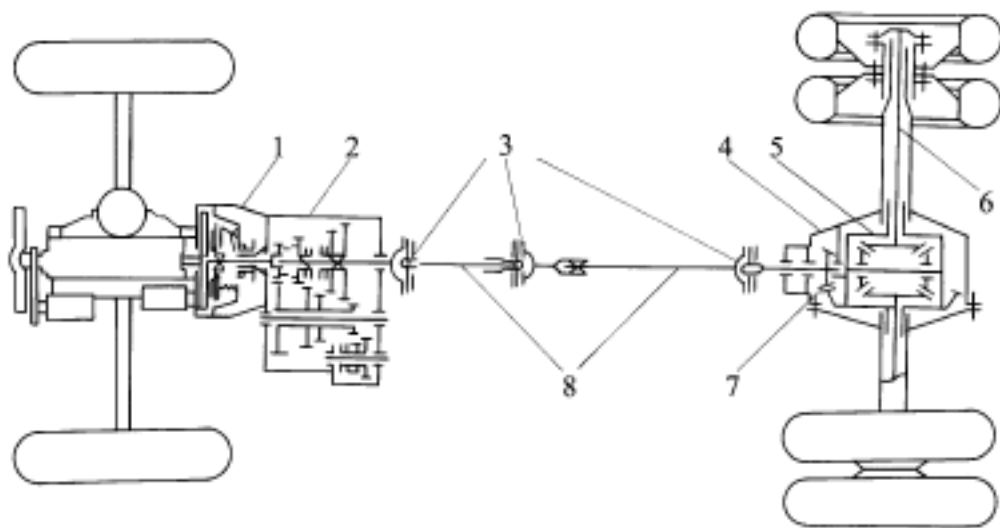


图 1—1 机械式传动系统一般组成及布置示意图

1—离合器 2—变速器 3—万向节 4—驱动桥 5—差速器 6—半轴 7—主减速器 8—传动轴

二、功能

传动系的首要任务是与发动机协同工作，以保证汽车能在不同使用条件下正常行驶，并具有良好的动力性和燃料经济性。为此，任何形式的传动系都必须具有如下功能：

1. 减速和变速

只有当作用在驱动轮上的牵引力足以克服外界对汽车的阻力时，汽车方能起步和正常行驶。由试验得知，即使汽车在平直的沥青路面上以低速匀速行驶，也需要克服数值约相当于 1.5% 汽车总重力的滚动阻力。以东风 EQ1090E 型汽车为例，该车满载总质量为 9 290 kg (总重力为 91 135 N)，其最小滚动阻力约为 1 367 N。若要求满载汽车能在坡度为 30% 的道路上匀速上坡行驶，则所要克服的上坡阻力即达 2 734 N。东风 EQ1090E 型汽车的 6100Q—1 型发动机所能产生的最大转矩为 353 N·m (1 200 ~ 1 400 r/min)。假设将这一转矩直接如数传给驱动轮，则驱动轮可能得到的牵引力仅为 784 N。显然，在此情况下，汽车不仅不

能爬坡，且在平直的良好路面上也不可能匀速行驶。

另一方面，6100Q—1型发动机在发出最大功率99.3 kW时的曲轴转速为3 000 r/min。假如将发动机与驱动轮直接连接，则对应这一曲轴转速的汽车速度将达510 km/h。这样高的车速既不实用，也不可能实现（因为相应的牵引力太小，汽车根本无法起步）。

为解决上述矛盾，必须使传动系具有减速增矩作用（简称减速作用），即使驱动轮的转速降低为发动机转速的若干分之一，相应地驱动轮所得到的转矩则增大到发动机转矩的若干倍。在机械式传动系中，若不计摩擦，则驱动轮转矩与发动机转矩之比等于发动机转速与驱动轮转速之比。二者统称为传动比，以符号 i 表示。

传动系传动比的最小值 i_{\min} 应保证汽车能在平直良好的路面上克服滚动阻力和空气阻力，并以相应的最高速度行驶。轿车和轻型货车的 i_{\min} 一般为3~6，重型货车的 i_{\min} 一般为6~15。最小传动比通常是依靠装在驱动桥中的主减速器来实现。在轿车和轻、中型货车中，广泛采用一对大小不等、轴线互相垂直的圆锥齿轮作为主减速器（如图1—1中标号7所指）。大小两齿轮的齿数比即为主减速器的 i_0 ，其数值一般应等于所要求的传动系最小传动比 i_{\min} 。东风EQ1090E型汽车的主减速器传动比 $i_0 = 6.33$ 。这样，即使发动机转速高达3 000 r/min，相应的车速也只有80.5 km/h。当发动机转速为1 200 r/min，相应的最大转矩为353 N·m时，汽车牵引力可达4 961 N。这样大的牵引力可以使该车在沥青路面上，以40 km/h的匀速爬越40°左右的坡度。

当要求牵引力足以克服最大行驶阻力，或要求汽车具有某一最低稳定速度时，传动系传动比就应取最大值 i_{\max} 。 i_{\max} 在轿车上约为12~18，在轻、中型货车约为35~50（东风EQ1090E型汽车 $i_{\max} = 47.35$ ）。由于驱动桥尺寸受到离地间隙要求的限制，单靠主减速器来实现 i_{\max} 是不可能的。故除了主减速器以外，在传动系中还应设置由一对或两对减速齿轮组成的传动比 i_g 的辅助减速机构，并与主减速器串联，这样，整个传动系的传动比便等于 i_g 与 i_0 的乘积。只要 i_g 值足够大，就可实现 i_{\max} 。

汽车的使用条件，诸如汽车的实际装载质量、道路坡度、路面状况，以及道路宽度和曲率、交通情况所允许的车速等等，都在很大范围内不断变化。这就要求汽车牵引力和速度也有相当大的变化范围。另一方面，就活塞式内燃机而言，在其整个转速范围内，转矩的变化不大，而功率及燃油消耗量的变化却很大，因而保证发动机功率较大而燃料消耗率较低的曲轴转速范围，即有利转速范围是很窄的。为了使发动机能保持在有利转速范围内工作，而汽车牵引力和速度又能在足够大的范围内变化，应当使传动系传动比能在最大值和最小值之间变化，即传动系应起变速作用。

若传动比在一定范围内的变化是连续的和渐进的，则称为无级变速。无级变速可以保证发动机保持在最有利工况下工作，因而有利于提高汽车的动力性和燃料经济性。但对机械式传动系而言，实现无级变速有一定难度。因此机械式传动系多数是有级变速，即传动比挡数是有限的。一般轿车和轻、中型货车的传动比有3~5挡，越野汽车和重型货车的传动比可多达8~10挡。实现有级变速的结构措施，大多数是只在主减速器之前的辅助减速机构中设置并联的若干对减速齿轮，其传动比 i_g 各不相同，而且任何一对齿轮都可以在驾驶员操纵下加入或退出传动。在汽车行驶过程中，驾驶员可根据需要，选用其中一对齿轮与主减速器串联传动，以获得不同的传动系总传动比 $i = i_0 \cdot i_g$ 。这种辅助减速机构即称为变速器（如图1—1中标号2所指）。在良好道路上欲使汽车以较高速行驶时，可选用变速器中传动比较

小的挡位（高速挡，简称高挡）；在艰难道路上行驶或爬越较大坡度时，可选用变速器中传动比较大的挡位（低速挡，简称低挡）。绝大多数变速器的最高挡传动比为 1，即变速器不起减速作用，仅依赖主减速器实现减速。

有些汽车在变速器与主减速器之间还加设一个辅助变速机构——副变速器，必要时还将主减速器也设计成多挡的，借以增加传动系传动比挡数。

2. 实现汽车倒驶

汽车在某些情况下（如进入停车场或车库，在窄路上调头时），需要倒向行驶。然而，内燃机是不能反向旋转的，故与内燃机共同工作的传动系必须保证在发动机旋转方向不变的情况下，能使驱动轮反向旋转。一般结构措施是在变速器内加设倒挡（具有中间齿轮的减速齿轮副）。

3. 必要时中断传动

内燃机只能在无负荷情况下启动，而且启动后的转速必须保持在最低稳定转速以上，否则即可能熄火。所以在汽车起步之前，必须将发动机与驱动轮之间的传动路线切断，以便启动发动机。发动机进入正常怠速运转后，再逐渐地恢复传动系的传动能力，即从零开始逐渐对发动机曲轴加载，同时加大节气门开度，以保证发动机不致熄火，且汽车能平稳起步。此外，在变换传动系传动比挡位（换挡）以及对汽车进行制动之前，也都有必要暂时中断动力传递。为此，在发动机与变速器之间可装置一个依靠摩擦来传动，且其主动和从动部分可在驾驶员操纵下彻底分离，随后再柔和接合的机构——离合器（如图 1—1 中标号 1 所指）。

在汽车长时间停驻时，以及在发动机不停止运转情况下使汽车暂时停驻，或在汽车获得相当高的车速后，欲停止对汽车供给动力，使之靠自身惯性进行长距离滑行时，传动系应能长时间保持在中断传动状态。为此，变速器应设有空挡，即所有各挡齿轮都能自动保持在脱离传动位置的挡位。

4. 差速作用

当汽车转弯行驶时，左右车轮在同一时间内滚过的距离不同，如果两侧驱动轮仅用一根刚性轴驱动，则二者角速度必然相同，因而在汽车转弯时必然产生车轮相对于地面滑动的现象。这将使转向困难，汽车的动力消耗增加，传动系内某些零件和轮胎加速磨损。所以，驱动桥内装有差速器 5（见图 1—1），使左右两驱动轮可以不同的角速度旋转。动力由主减速器先传到差速器再由差速器分配给左右两半轴 6，最后传到两侧的驱动轮。

此外，由于发动机、离合器和变速器都固定在车架上，而驱动桥和驱动轮一般是通过弹性悬架与车架相联系的。因此在汽车行驶过程中，变速器与驱动轮二者经常有相对运动。在此情况下，二者之间不能用简单的整体传动轴传动，而应采用如图 1—1 所示的由万向节 3 和传动轴 8 组成的万向传动装置。

图 1—1 所示的发动机前置，后轮驱动方案是 4×2 型汽车的典型总体布置方案。除此以外，还有发动机前置、前轮驱动和发动机后置、后轮驱动等方案。

图 1—2 是一种发动机前置、前轮驱动而且采用独立悬架的轿车传动系示意图。在图示的布置方案中，发动机 1、离合器 2 和变速器 3 都布置在驱动桥（前桥）的前方，而且三者与主减速器 5、差速器 6 装配成一个十分紧凑的整体，固定在车架或车身底板上。这样，在

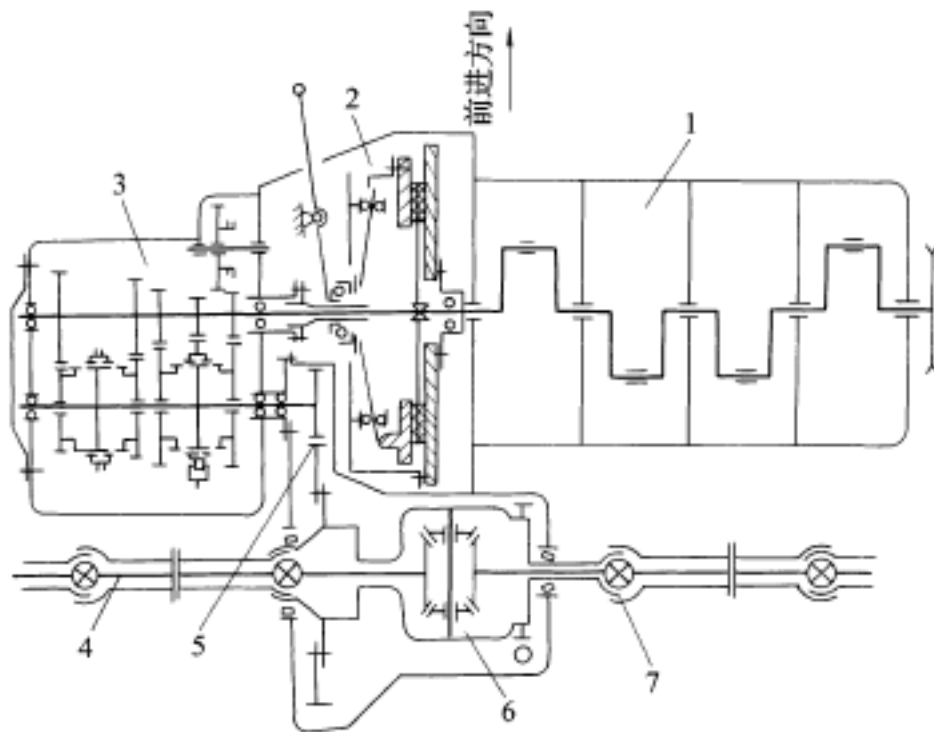


图 1—2 发动机前置、前轮驱动的轿车传动系示意图

1—发动机 2—离合器 3—变速器 4—半轴 5—主减速器 6—差速器 7—万向节

变速器和驱动桥之间就没有必要设置万向节和传动轴。发动机可以纵置，也可以横置。在发动机横置的情况下，由于变速器轴线与驱动桥轴线平行，主减速器可以采用结构和加工都较简单的圆柱齿轮副。由于取消了纵贯前后的传动轴，车身底板高度可以降低，有助于提高高速行驶时的稳定性。整个传动系集中在汽车前部，因而其操纵结构比较简单。图示方案中，半轴 4 两端用万向节 7 分别与差速器 6 和驱动轮轴连接，前轮既是驱动轮又是转向轮，而且采用了独立悬架。这种发动机和传动系的布置形式目前已在微型和轻级轿车上广泛应用，在中、高级轿车上应用的也日渐增多。货车没有采用这种方案是因为上坡时作为驱动轮的前轮附着力太小，不能获得足够的牵引力。

图 1—3 所示的布置方案用于发动机后置、后轮驱动的大型客车。发动机 1、离合器 2 和变速器 3 都横置于驱动桥之后，驱动桥采用非独立悬架。主减速器与变速器之间距离较大，其相对位置经常变化。由于这些原因，有必要设置万向传动装置 5 和角传动装置 4。大型客车采用这种布置形式更容易做到汽车总质量在前后车轴之间的合理分配。但是，在此情况下，发动机冷却条件较差，发动机和变速器、离合器的操纵结构都较复杂。

对于要求能在坏路或无路区域行驶的越野汽车，为了充分利用所有车轮与地面之间的附着条件，以获得尽可能大的牵引力，总是将全部车轮都作为驱动轮。图 1—4 是 4×4 轻型越野汽车传动系示意图。

从图中可以看出，与图 1—1 所示的 4×2 型汽车相比较，不同的是前桥 1 也是驱动桥。为了将变

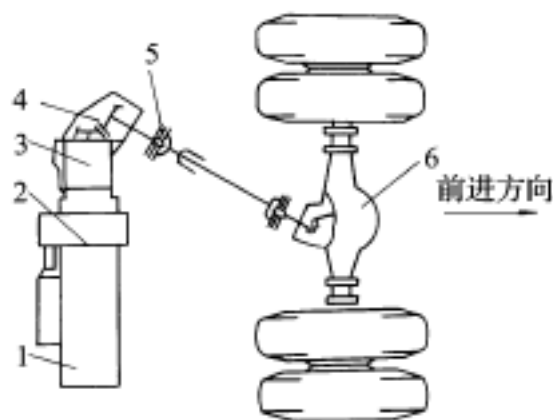


图 1—3 发动机后置、后轮驱动的大型客车传动系示意图

1—发动机 2—离合器 3—变速器
4—角传动装置 5—万向传动装置 6—驱动桥

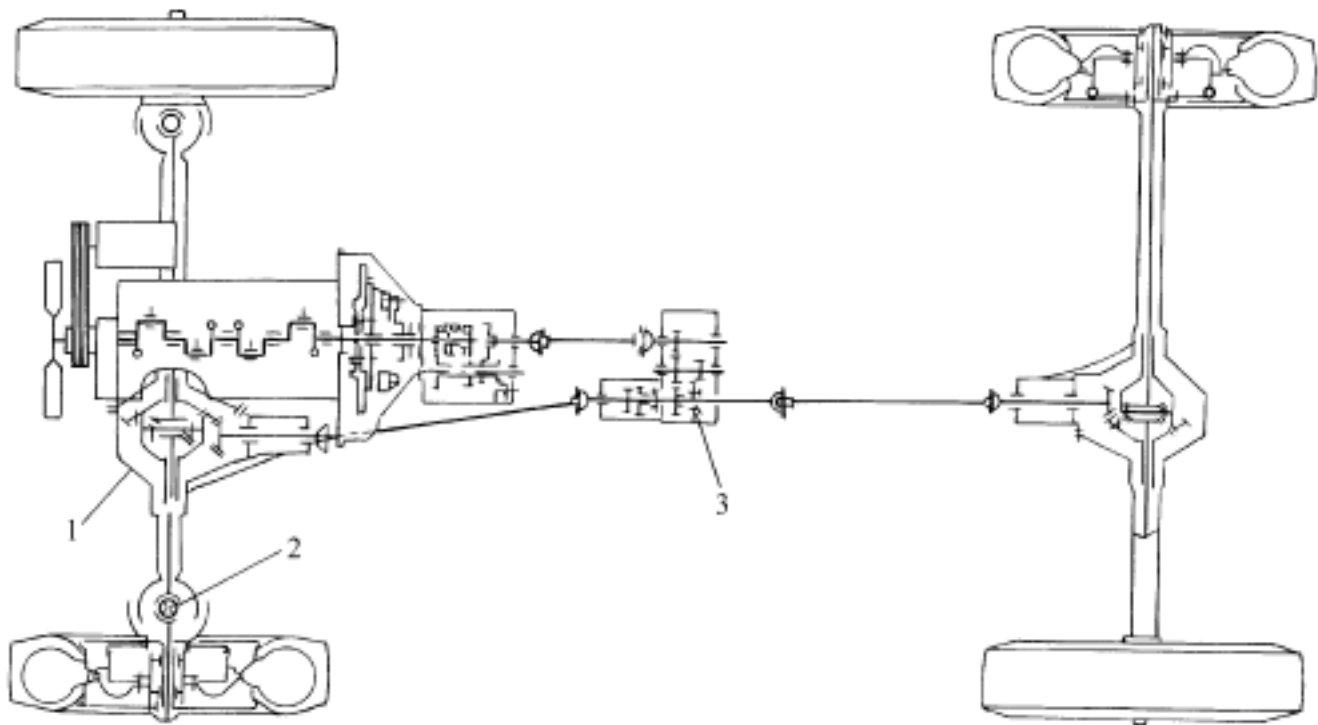


图 1—4 4 × 4 型汽车传动系示意图

1—前驱动桥 2—万向节 3—分动器

变速器输出的动力分配给前、后两驱动桥，在变速器与两驱动桥之间设置有分动器 3，并且相应增设了自分动器通向前驱动桥的万向传动装置。前驱动桥半轴与前驱动轮之间设置万向节 2 是由于前轮兼充转向轮的需要。

液力机械式传动系的特点是组合运用液力传动和机械传动。此处，液力传动单指动液传动，即以液体为传动介质，利用液体在主动元件和从动元件之间循环流动过程中动能的变化来传递动力。动液传动装置有液力耦合器和液力变矩器两种。液力耦合器只能传递转矩，而不能改变转矩的大小，可以代替离合器的部分功能，即保证汽车平稳地起步和加速，但不能保证在换挡时变速器中的齿轮不受冲击。液力变矩器则除了具有液力耦合器全部功能外，还能实现无级变速，故目前应用比液力耦合器广泛得多。但是，液力变矩器的输出转矩与输入转矩的比值变化范围还不足以满足使用要求，故一般在其后再串联一个有级式机械变速器而组成液力机械式变速器，以取代机械式传动系中的离合器和变速器。液力机械式传动系其他组成部件及布置方案与机械传动系相同。

图 1—5 所示为 ZF 公司生产的重型汽车自动变速器在车辆上的布置图。图 1—6a 所示为轿车用 OM 自动变速器结构简图，图 1—6b 为该自动变速器的传动工作原理图。表 1—1 为该自动变速器各挡位与执行元件的关系。

汽车自动变速是指自动改变传动比，调节或改变发动机动力输出性能，经济而方便地传递动力，较好地适应外界负载与道路条件的需要。自动变速器自 1939 年美国通用汽车公司首次在轿车上应用以来，发展速度很快，尤其是电子技术和微处理机应用在换挡变速装置之后，自动变速技术这一人们长期追求的目标，进入了迅速发展的崭新时期。

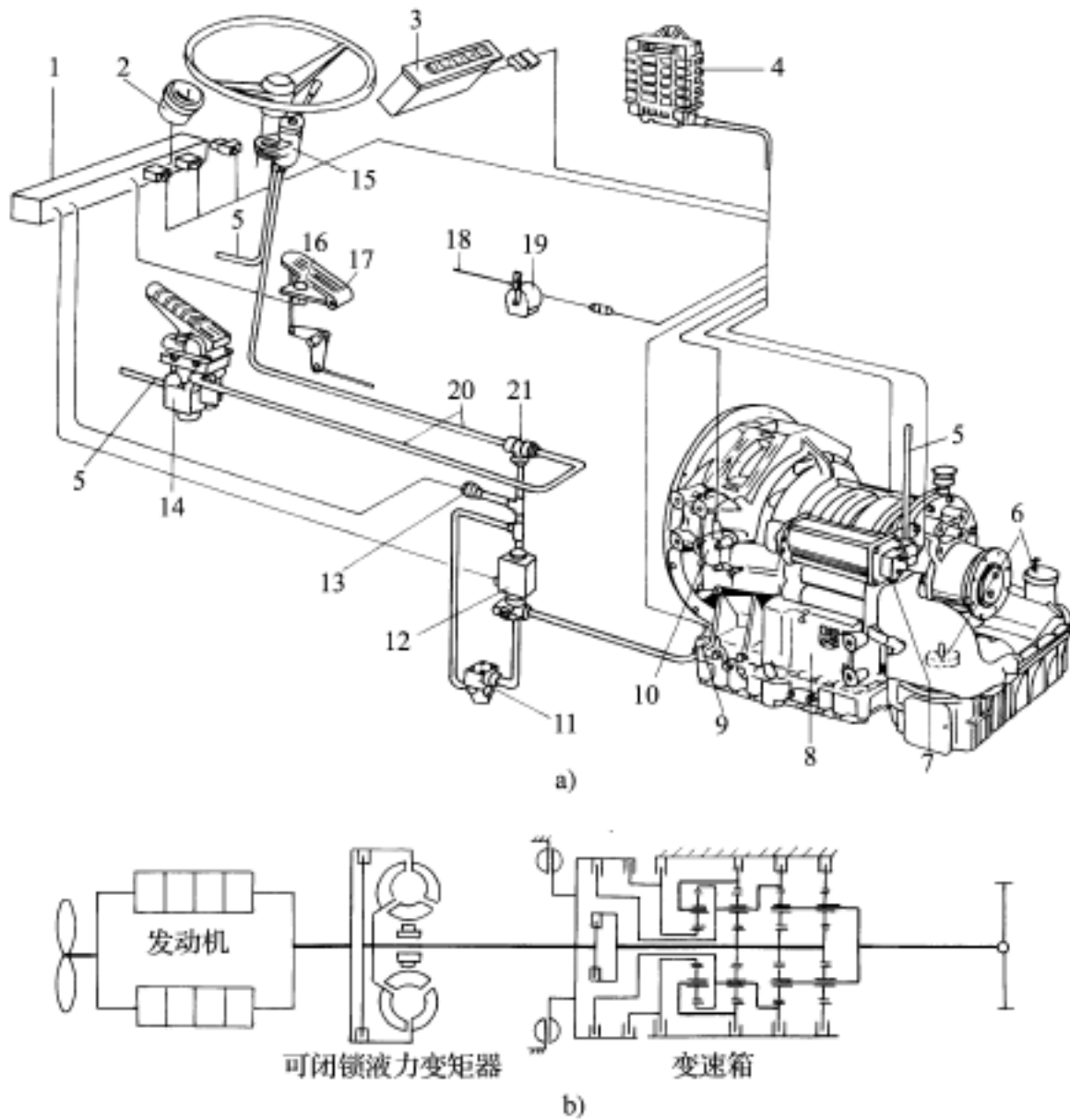


图 1—5 ZF 重型汽车自动变速器系统

a) 系统组成 b) 传动简图

- 1—接线端子 2—温度计 3—换挡控制器 4—EST 18 电子控制单元 5—连接辅助气室 6—连接冷却水
 7—液力减速器蓄压器电磁阀 8—ZF Ecomat 自动变速箱 9—液力减速器操作电磁阀
 10—温度传感器 11—减压阀 12—二位三通电磁阀 13—液力减速器信号压力继电器
 14—用于制动和无级液力减速器操作的制动踏板阀 15—手动无级液力减速器操作阀 16—kick down 开关
 17—加速踏板 18—连接喷油泵 19—油门位置传感器 20—液力减速器控制压缩空气 21—接头

表 1—1 轿车用 OM 自动变速器各挡位与执行元件的关系

挡位	B ₁	B ₂	K ₁	K ₂	K ₃	F	K ₀
R							
1H							
1M							
2H							
2M							
3H							
3M							
4H							
4M							

注： —离合器、制动器或单向离合器接合；H—液力传动；M—机械传动。

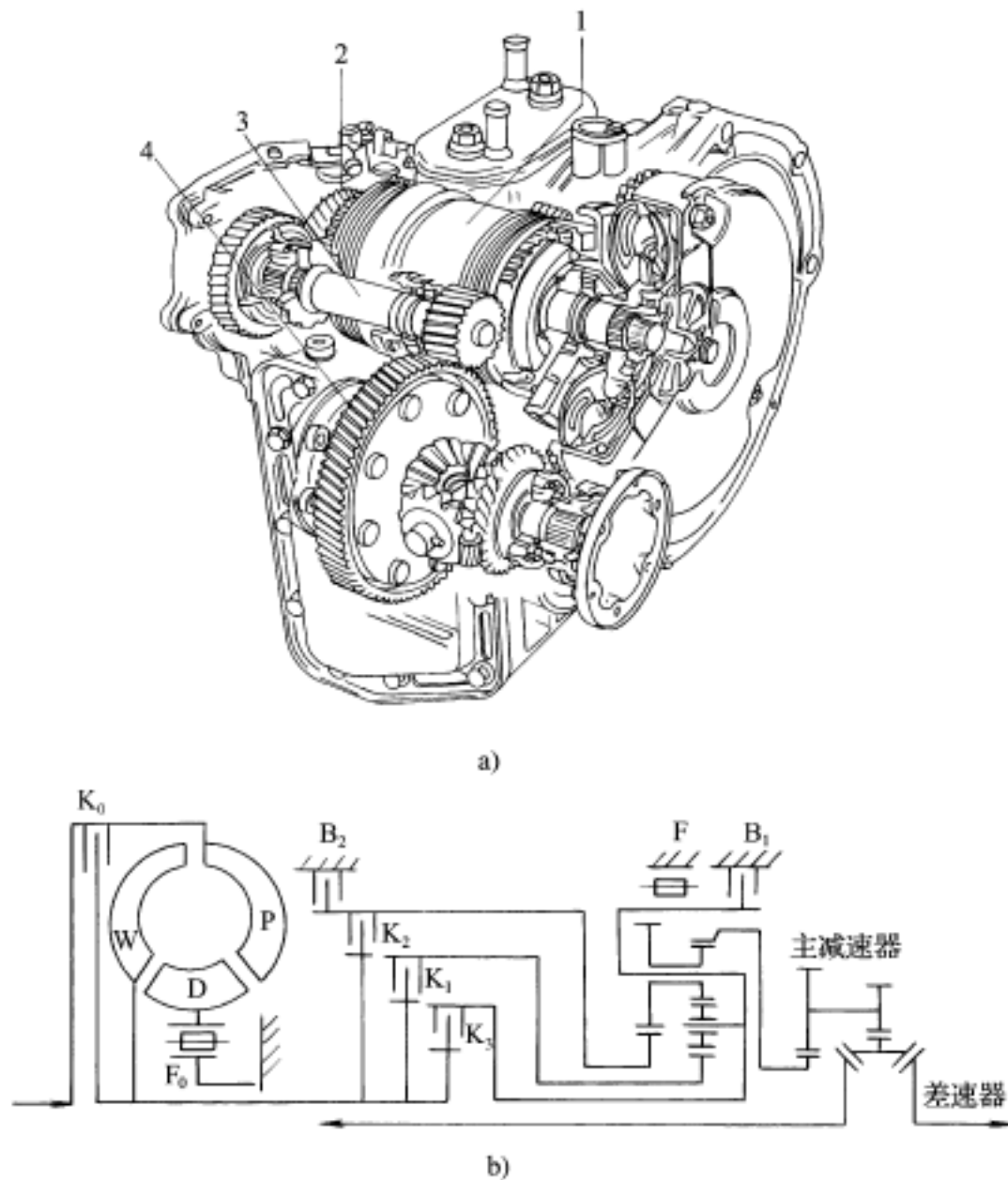


图 1—6 前轮驱动的轿车自动变速系统

a) OM 自动变速器结构简图 b) 工作原理图

1—行星齿轮系 2—中间传动主动齿轮 3—中间传动齿轮轴 4—差速器

§ 1—2 自动变速装置的类型和应用

目前，由于车辆自动变速技术的理论和设计已比较成熟，产品品种相当多，使用对象除军用车辆外，还有轿车、客车、重型自卸车、货车、工程机械等车辆。车辆自动变速装置大致有以下三类。

一、液体传动

液体传动是以液体作为工作介质的传动机械，其基本原理是利用工作装置实现部件与工作液体之间的相互作用，引起机构能和液体能相互转换，以此传递动力。这其中有液力传动和液压传动。它们都具有传力柔和、吸收振动的特点。

1. 液力传动

液力传动装置的基本部件有液力偶合器或液力变矩器。它们都是通过液体动量矩的变化

来改变转矩的传动元件。液力变矩器具有无级连续变速和改变转矩的能力，对外负载有良好的自动调节和适应性。它使车辆起步平稳，加速迅速、均匀，其减振作用降低了传动系统的动载和扭振，延长了传动系的使用寿命，提高了乘坐舒适性、行驶安全性、通过性以及车辆的平均速度。

液力变矩器出现于 1906 年，是船舶工业发展过程中的产物。由于其具有的对外负载的自动适应性，更适用于地面行驶车辆的要求，在 20 世纪 30 年代，瑞典的里斯豪姆与英国利兰汽车公司的史密斯合作，创立了三级液力变矩器，首先应用于公共汽车上，随后又用于其他车辆。

然而，液力变矩器存在着效率不高，变矩范围有限的问题。因此，使用单个液力变矩器并没有很大的实用意义，而需串联一个定轴式或者旋转轴式机械变速器，以扩大变速和变矩范围。

以液力偶合器或液力变矩器与旋转轴式变速器组合，就可得到动力换挡变速器。这种变速器被较多地用于工程机械和重型运输车辆。若在动力换挡变速器的基础上，再加上自动变速或控制系统，便得到液力自动变速器 (Automatic Transmission, 简称 AT)。这种动力换挡变速器或自动变速器中的液力元件除与旋转轴式变速器串联，传递全部发动机功率外，还可与旋转轴式变速器进行多种方式并联，实现内分流、外分流、混合分流等多种自动变速方式。

从 20 世纪 50 年代起，装备液力自动变速器的汽车开始增多，但自动变速器的效率低于机械变速器，使得装备自动变速器的汽车存在燃油经济性较差的问题，从而限制了它的发展。为解决液力自动变速器效率低的问题，汽车界的工程技术人员做了大量的工作。60 年代的研究重点是采用多元件工作轮来提高液力变矩器的效率。70 年代是使用闭锁离合器来提高液力自动变速器在高速时的效率。80 年代则采取增加行星齿轮变速器挡位的方法。90 年代，电子和计算机技术的大量应用，使液力自动变速器的发展进入了一个新的时期，综合经济性能也得到了提高。表 1—2 为国外在同一种轿车上安装液力自动变速器和手动机械变速器所进行的油耗比较。

表 1—2 同一轿车安装液力和机械两种变速器时油耗的比较

公司、车型	变速器	等速油耗 (L/100 km)		城市油耗 (L/100 km)
		$v_1 = 90 \text{ km/h}$	$v_2 = 120 \text{ km/h}$	
Renault 30TS (法国)	五速手动	8.5	11.6	17.3
	三速自动	9.1	12.1	16.5
Audi 100GL5E (德国)	五速手动	6.4	8.3	13.3
	三速自动	8.3	10.5	13.2
BMW 728I (德国)	五速手动	8.1	10.4	17.8
	三速自动	9.6	12.1	17.4

Benz 280SE (德国)	四速手动	9.1	11.3	17.4
	四速自动	9.4	11.7	16.8

由表 1—2 可见，同一汽车装备三挡自动变速器时，高速行驶的百公里油耗大于装备五挡手动机械变速器，但城市行驶百公里油耗则小于装备五挡手动机械变速器。而汽车装备四挡自动变速器时，不仅城市行驶百公里油耗小于同一汽车装备五挡手动机械变速器，而且高速行驶时的百公里油耗与同一汽车装备五挡手动机械变速器相比，几乎没有差别。

长春汽车制造厂也对发动机排量相等、整车质量接近的两种轿车进行过类似的对比试验，结果与上述结论相近（见表 1—3）。

表 1—3 两种不同变速器的轿车油耗比较

车型		BMW 728I (德国) 装机械变速器	Datsun 280C (日本) 装液力自动变速器
公路行驶	平均车速 (km/h)	61.1	65.4
	油耗 (L/100 km)	10.9	11.28
城市行驶	平均车速 (km/h)	28.24	29.4
	油耗 (L/100 km)	13.7	12.87
整车试验质量 (kg)		1 674	1 625

最近，通过设计理论的改进，采用 CAD/CAM（计算机辅助设计和计算机辅助制造）技术来提高液力变矩器的效率，加之电子及计算机技术和现代控制理论的应用，使液力自动变速器的性能日趋完善。

目前，液力自动变速器在轿车上的装备率，美国达 95% 左右，日本在大、中型轿车上的装备率达 80% 以上。液力传动在城市客车上的装备率，美国为 100%，西欧国家为 95%。在工程机械、军用车辆上的应用也相当普遍。

2. 液压传动

液压传动与液力传动的主要区别是：液压传动是依靠液体压能来传递和变换能量的。其基本元件是液压泵和液压电动机。液压泵将发动机动力转变为工作液体的压力能，经由控制元件输入液压电动机，在工作油压的作用下驱动车轮。系统油压的大小取决于负载，车辆的速度取决于系统流量。液压传动具有在大范围内连续进行正、倒驶工况平稳无级变速的特点，性能接近理想特性；还具有吸振和减小冲击的能力；系统总布置也很方便。因此，在推土机、装载机等工程机械上得到广泛应用。但由于液压传动的效率显著低于机械传动，元件加工精度要求高，制造成本高，故常与行星齿轮并联构成液压—机械无级传动系统。

二、机械传动

1. 有级式机械传动

由液力元件、旋转轴式齿轮变速器、自动变速控制系统所组成的自动变速器，有时也被归于有级式机械传动一类。但这里所指的有级式机械传动是有级式机械自动变速器体系，即由普通齿轮式机械变速器组成的有级式机械自动变速器（Automatic Mechanical Transmis-

sion, 简称 AMT)。这种自动变速器主要有三个部分: 自动离合器、发动机油门同步调节机构、齿轮式机械变速器和电子控制系统。

提出这种变速器的设想是由于液力自动变速器存在着效率较低、结构复杂、成本高等缺点, 因而希望尝试在效率高、结构简单的固定式手动变速器上实现自动化。这只有在电子技术发展到一定条件下才有可能实现。从 20 世纪 60 年代起, 开始出现了对传统的离合器和手动机械变速器的半自动操纵, 如美国伊顿公司的半自动变速器“SAMT”、德国 ZF 公司的半自动变速器“Semishift”等。但这些变速器仍未能实现控制过程中最困难的自动化过程, 即还没有达到全自动变速。其中的关键技术是对离合器的最佳控制及发动机的同步调节。

1983 年, 日本五十铃公司在世界上率先研制成功电子控制全机械式有级自动化变速器“NAVI—5”, 并装于 ASKA 轿车上。在车速为 60 km/h 时, 可比液力自动变速器节油 10%~30% 左右。日野的蓝带大客车也于同时期安装了这种类型的变速器。伊顿公司在 1983 年也宣布成功地将重型货车的手动变速器实现了自动化。ZF 公司的一种 16 挡的变速器也实现了自动换挡, 于 1988 年将这种称之为“Autoshift”的变速装置装备在 Geneva 货车上。此外, 德国大众公司、意大利菲亚特公司、法国雷诺公司和日本丰田公司相继开展 AMT 的研究和开发。我国有关部门也正在进行这方面的研究。

采用现代电子技术改造传统手动变速器而得到的机械式自动变速器, 既有液力自动变速器可以实现自动变速的优点, 又有普通齿轮变速器的传动效率高、价格低的优点。目前的应用虽然还不普遍, 但具有较大的潜在意义。

2. 无级变速机械传动

机械无级传动 (Continuously Variable Transmission, 简称 CVT), 即常称的机械自动无级变速器, 具有节油、操纵方便、行驶舒适等特点。早期的机械无级变速器是通过两个锥体改变接触半径而实现传动比连续变化, 但由于接触部分挤压应力太高, 难以进入实用化, 后发展成为采用橡胶材料的带传动, 又受使用寿命的影响。德国的 PIV 公司从 1956 年起, 开始研究链传动的 CVT, 德国大众等公司也曾在轿车上装用过这种变速器。到 20 世纪 80 年代, 出现了技术上的突破, 橡胶带被由许多薄钢片穿成的钢环代替, 使其与两个锥轮的槽在不同的半径上“咬合”来改变速度比。1987 年, 福特公司首次在市场上推出装用这种钢环的 CVT, 富士重工、菲亚特等公司也已批量生产。

从理论上说, CVT 可以使发动机始终在其经济转速区域内运行, 从而使大幅度节省燃油 (10%~20%) 的目标是可能实现的。此外, CVT 在加速时不需切断动力, 因此, 装备 CVT 的汽车乘坐舒适, 超车加速性能好。

三、电力传动

电力传动取消了机械传动中的传统机构, 它用电动机 (通常为电动轮) 驱动汽车。电力传动有多种形式, 如直流发电机—直流驱动, 交流发电机—直流变频—交流驱动等, 后者把经过晶闸管整流得到的直流电, 经逆变装置变为频率可变的交流电, 使电动机在变频交流电驱动下实现变速, 它的结构简单, 尺寸小, 重量轻, 布置方便, 代表了电动汽车技术发展方向。

电力传动除具有启动及变速平稳, 可无级变速的优点外, 还可按汽车行驶功率要求, 以最经济的转速运行; 能将电力传动转换为发电机状态实现充电及制动。

但电力传动的主要缺点是价格高, 行驶距离短, 自重也大, 故目前主要用在载重量 8.5 t 以上的矿用自卸车上。