

第一章 电子控制自动变速器的结构与原理

第一节 概述

一、自动变速器的发展概况

变速器在汽车传动系中主要起改变转速和转矩作用。传统的手动变速器虽能满足汽车行驶动力性和经济性的基本要求，但存在不足。

1. 换档操作劳动强度大增加了行车不安全因素

司机在进行换档操作时，需要交替操纵离合器踏板和加速踏板及变速器操纵杆。在道路状况变化大，交通情况复杂时，司机需要频繁地进行换档操作，劳动强度较大，容易紧张、疲劳及注意力分散，从而增加汽车行驶的不安全因素。

2. 换档操作产生动载荷影响发动机和传动系统的寿命

换档时必须切断发动机的动力，因此发动机和传动系统都将承受因换档而引起的冲击力，从而降低了发动机和传动系统的使用寿命。

3. 不易把握换档的最佳时机，影响汽车的行驶动力和增加了油耗

把握换档的时机需要司机有丰富的经验和熟练的驾驶技术，但一个最优秀的司机也不可能使其每次换档都是最佳的时机。加档过早或减档过晚，会使汽车的动力不足；加档过晚或减档过早，会使发动机的转速过高，油耗增加。

4. 换档操作使行车不平稳影响乘坐舒适性

在变速器换档操作时，由于有离合器的分离和接合过程，操作稍有不当，就易造成车辆的抖动，给乘坐带来不适。

为解决手动变速器的不足，各国的汽车设计师们研制设计了各种各样的自动变速器，以适应汽车行驶安全、舒适及节能的要求。1939年美国通用汽车公司首先在其生产的Oldsmobile轿车上装用了液力偶合器-行星齿轮组成的液力变速器。这种在一定范围内具有自动变速作用的变速器被认为是现代自动变速器的雏形。40年代末50年代初，出现了根据车速和节气门开度自动控制换档的液力控制换档自动变速器，使自动变速器进入了迅速发展时期，自动变速器在汽车上的应用越来越多。到1975年，自动变速器在重型汽车及公共汽车上的应用就已相当普及，美国及西欧国家采用液力传动的商用汽车比例如表1-1所示。

表 1-1 1975 年美国 and 西欧商用汽车采用液力自动变速器的比例（%）

国 家 \ 车 型	重型牵引汽车	越野汽车	市内客车	大型公共汽车
美国	80	80	100	100
西欧	80	80	95	90

70年代末电子控制技术开始应用于汽车变速器。日本丰田汽车公司研制成功了世界上第一台电子控制变速装置，并在1976年实现了批量生产。但由于这种电子控制自动变速器在控制精度和自由度方面效果并不十分理想，因此，包括日本在内的许多国家又把主要精力转向微机控制变速器的研究和开发。70年代末以来，以微机为控制核心的电子控制自动变速器迅速发展，目前美国98%的汽车装用了自动变速器，日本和西欧国家汽车自动变速器的普及率也达到了80%左右。

二、自动变速器的类型

在自动变速器的发展过程中出现了多种结构形式。自动变速器的驱动方式、档位数、变速齿轮的结构型式、变矩器的结构类型及换档控制形式等都有不同之处。下面以不同的分类方法加以概括。

(一) 按变速器换档操作的形式分类

按变速器换档操作是否全自动化分，有半自动变速器和全自动变速器两大类。

1. 半自动变速器

半自动变速器的换档操作仍需手动。有两种类型：一种是自动离合器-手动换档变速器的组合形式，因此也被称之为自动离合器式变速器；另一种是具有自动变速功能的液力变矩器-换档用离合器-辅助手动变速器组合形式，被称之为选择式自动变速器。半自动变速器实际上是自动变速器发展过程中的一个过渡形式，目前汽车上已很少采用。

2. 全自动变速器

全自动变速器简称自动变速器，是无需离合器操作和换档（加减档）操作的液力传动变速器。全自动变速器是现代自动变速器普遍采用的结构形式。

(二) 按自动换档的控制方式分类

按自动换档的控制方式分，有液力控制式自动变速器和电子控制式自动变速器。

1. 液力控制式自动变速器

液力控制式自动变速器换档控制方式是通过机械手段将节气门开度和车速参数转化为压力控制信号，使阀板中各控制阀按照设定的换档规律控制换档执行机构动作，实现自动换档。液力控制换档过程如图1-1所示。

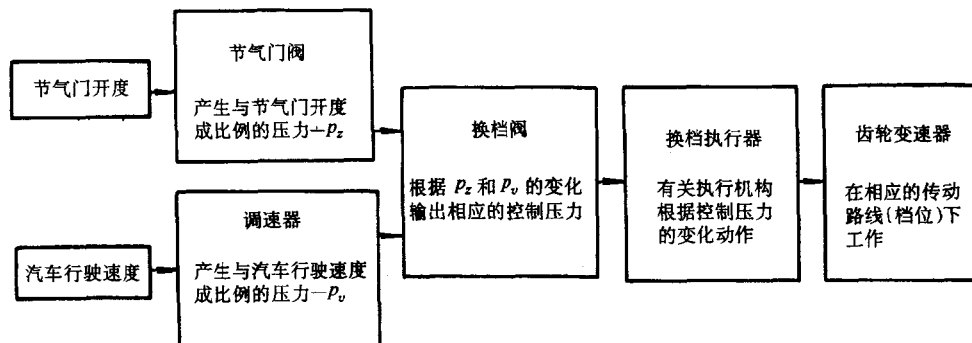


图 1-1 液力控制式自动变速器的换档过程

2. 电子控制式自动变速器

电子控制式自动变速器通过各种传感器将发动机转速、节气门开度、车速、发动机温

度、自动变速器液压油温度等参数转变为电信号，输入自动变速器电脑，电脑根据这些电信号确定变速器换档控制信号。电脑输出的换档信号控制相应的换档电磁阀动作，并通过换档阀产生相应的压力控制信号，使有关的换档执行机构动作，实现自动换档。电子控制换档过程如图 1-2 所示。

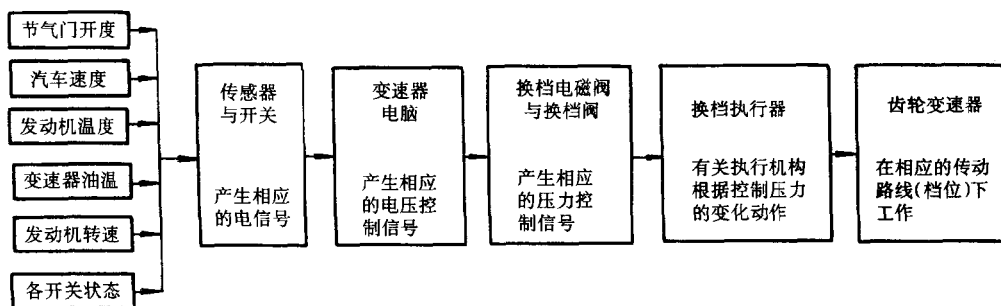


图 1-2 电子控制式自动变速器的换档过程

（三 按动力传递的方式分类

按动力传递的方式分，有液力式、气压式、电磁式和机械式等 4 种不同形式的自动变速器。液力式又可分为动压式（液力偶合式和液力变矩式）和静压式两种。目前普遍采用的是液力动压式自动变速器。

（四）按自动变速器前进档位的多少分类

按自动变速器前进档位分，有 2 档、3 档、4 档自动变速器。现在的自动变速器一般为 4 前进档，4 档为超速档。

（五）按齿轮变速器部分的结构类型分类

按自动变速器齿轮变速器部分的结构不同，分为普通齿轮（平行轴）式和行星齿轮式两种。由于行星齿轮变速器结构紧凑，又能获得较大的传动比，因此目前的自动变速器普遍采用行星齿轮结构型式。

三、自动变速器的优点

现代汽车自动变速器普遍采用的是液力变矩器与行星齿轮式变速器组合而成的液力全自动变速器，换档自动控制形式有纯液压式和电子控制式两种。相比于传统的手动机械式变速器，自动变速器具有如下优点。

1. 驾驶操作简化，提高了行车安全性

在汽车起步和运行时，自动变速器无需离合器操作和手动换档操作，减少了驾车操作的劳动强度，可使司机集中精力注意路面交通情况，因此，行车的安全性得以提高。

2. 提高了发动机和传动系统的使用寿命

由于自动变速器在自动换档过程中无动力中断，换档平稳，减小了发动机和传动系统零件的动载荷；液力变矩器这个“弹性元件”可以吸收动力传递过程中的冲击和动载荷，因此，采用自动变速器的汽车发动机和传动系统零件的寿命比采用机械式变速器的要长。

3. 提高了汽车的动力性

自动变速器在起步时，由于液力变矩器可连续自动变矩，可使驱动轮上的牵引力逐渐增

加，换挡时动力不中断，发动机可维持一稳定的转速，因此，可使汽车的起步、加速性能提高，汽车的平均车速也可提高。

4. 提高了汽车的通过性能

液力变矩器可以在一定的范围内自动变速来适应汽车行驶阻力的变化，在必要时又可自动换挡以满足牵引力的需要。因此显著提高了汽车的通过性能。

5. 减少了废气污染

手动换挡过程常常伴有供油量急剧变化，发动机转速变化较大的情况，容易导致燃烧不完全，使得发动机废气中有害物质增加。自动变速器由于有液力传动和自动换挡，在换挡过程中发动机可保持稳定的转速，发动机的燃烧条件不会恶化，因此可减少发动机排放的废气对空气的污染。

6. 可降低燃料消耗

因为液力传力效率较低，所以液力自动变速器的油耗要高于机械变速器。但由于自动变速器可以换挡适时，换挡过程中使发动机仍可在理想的状态下稳定运转，因此，在需要频繁换挡的市区行驶，自动变速器汽车比较省油。尤其是现代汽车自动变速器采用了电子控制换挡，可按照最佳油耗规律控制自动换挡，加之采用了超速档和变矩器锁止控制等，从而使自动变速器汽车的油耗有了明显的下降。

自动变速器的缺点是结构较为复杂，成本较高，对维修技术水平要求要高一些。

四、电子控制自动变速器的基本组成

电子控制液力自动变速器主要由液力传动装置、辅助变速装置和自动变速控制系统组成，如图 1-3 所示。

1. 液力传动装置

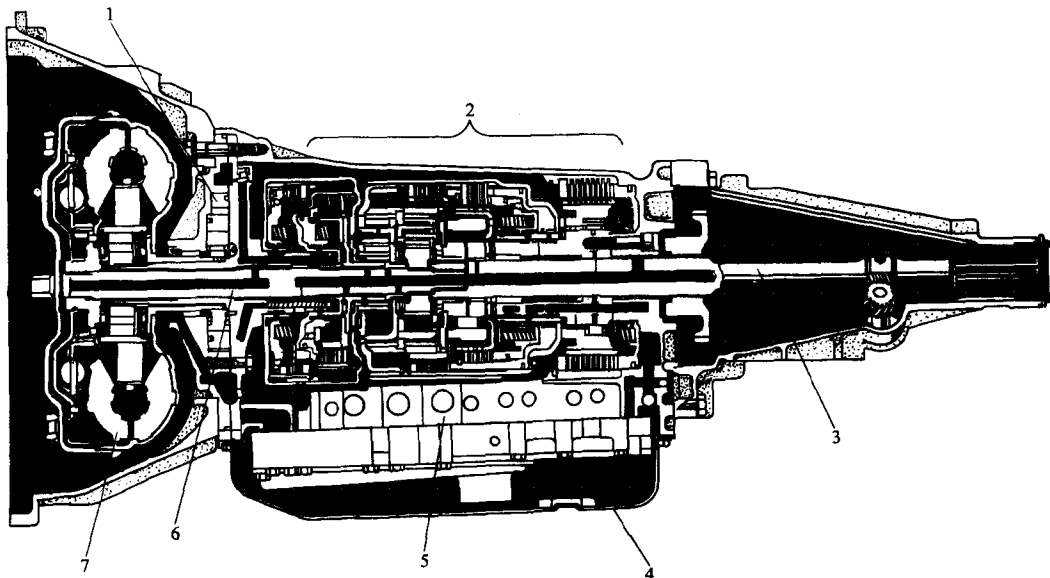


图 1-3 电子控制自动变速器的组成

1—油泵 2—齿轮变速器 3—输出轴 4—油底壳 5—自动变速器阀体 6—输入轴 7—液力变矩器

汽车液力传动装置有液力偶合器和液力变矩器之分，现代自动变速器液力传动装置都采用液力变矩器。变矩器安装于发动机飞轮上，可在一定的范围内实现增矩减速和无级变速。

2. 辅助变速装置

辅助变速装置有行星齿轮式和平行轴齿轮式两种结构形式，目前普遍采用行星齿轮式变速器。行星齿轮式变速器包括行星齿轮变速机构和换档执行机构两部分，其作用是进一步增矩减速，通过变换档位实现不同的传动比，以提高汽车的适应能力。现在的汽车自动变速器一般为 3 个或 4 个前进档，1 个倒档。齿轮变速器与液力变矩器相配合，就形成了更大范围内的变速。

3. 自动变速控制系统

电子控制自动变速器的自动变速控制系统与纯液力控制自动变速控制系统的不同在于：液力控制式自动变速器通过节气门阀和调速器将自动变速控制信号（节气门开度和车速）转变为相对应的控制压力来控制换档阀的动作，实现自动变速；而电子控制式自动变速器则是通过节气门传感器和车速传感器将节气门开度和车速转变为电信号，输入到电脑，电脑根据这两个信号和其它有关的信号确定换档时机，输出换档电信号，控制换档电磁阀动作，再通过换档阀和换档执行机构实现自动换档。

电子控制自动变速器的换档执行机构与液力控制式自动变速器的相似，也是液压机构。其动力的来源是自动变速器油泵。

电子控制自动变速器的控制过程如图 1-4 所示。

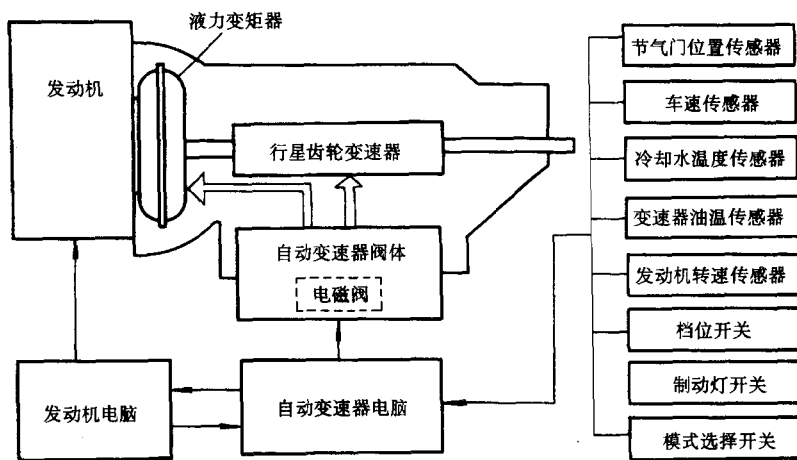


图 1-4 电子控制自动变速器的控制过程

第二节 电子控制自动变速器组成部件的结构与原理

一、液力变矩器

（一）液力变矩器的基本组成与原理

1. 液力变矩器的组成

组成液力变矩器的基本元件是泵轮、涡轮、导轮，如图 1-5 所示。

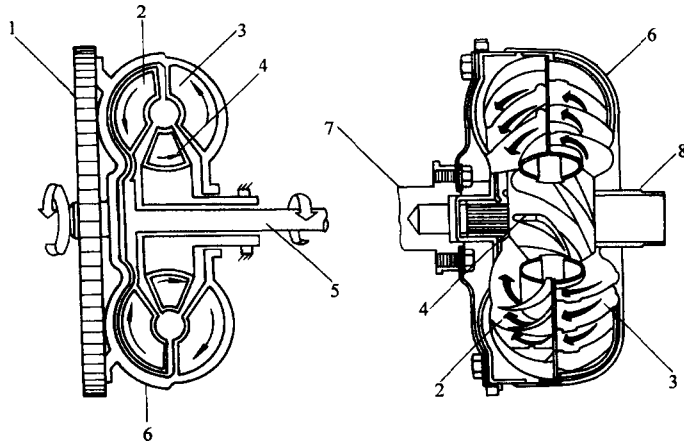


图 1-5 液力变矩器的基本组成

1—飞轮 2—涡轮 3—泵轮 4—导轮 5—变矩器输出轴 6—变矩器壳 7—曲轴 8—导轮固定套

2. 液力变矩器工作原理

液力变矩器基本元件的结构如图 1-6 所示。泵轮和变矩器壳为一体，变矩器壳体与发动机飞轮相连，因此泵轮是变矩器的主动件。涡轮与输出轴相连，为变矩器的从动件。泵轮和涡轮都称为工作轮，两轮之间有一定的间隙，两轮上都均布有叶片，变矩器壳体内充满了液压油。当发动机飞轮带动泵轮转动后，泵轮内的液压油在泵轮叶片的作用下随之一起旋转；液压油又受自身离心力的作用而甩向泵轮叶片的外缘，并从涡轮叶片的外缘冲向涡轮叶片，使得涡轮在液压油的冲击力作用下旋转起来；冲入涡轮的液压油从其叶片的外缘流向内缘后，又流回到泵轮的内缘，将再次被泵轮甩向外缘。在泵轮作用下，液压油循环流动，将扭矩传递给涡轮。

只有泵轮和涡轮的液力传动机构称为液力偶合器，液力偶合器的输出扭矩与输入扭矩相等。液力变矩器则在泵轮与涡轮之间加了一个导轮，有了静止不动的导轮后，流向涡轮内缘的液压油将冲向导轮，并沿导轮叶片流回泵轮。液压油给导轮以冲击力，导轮则给液压油一个同样大小的反作用力，此反作用力又根据作用与反作用原理传递给了涡轮。因此，加了导轮后，作用在涡轮上的扭矩是变矩器输入扭矩和导轮对液压油的反作用扭矩之和，即起到了增矩的作用。

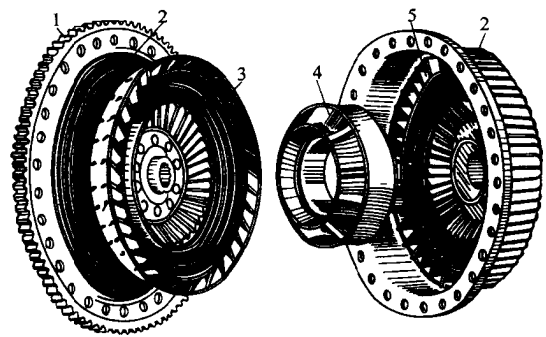


图 1-6 变矩器基本元件的结构

1—飞轮 2—变矩器壳 3—涡轮 4—导轮 5—泵轮

(二) 导轮单向离合器的作用与原理

1. 导轮单向离合器的作用

液力变矩器输出扭矩增大的部分，实际上就是固定不动的导轮对循环流动的液压油的反作用力矩，其值与涡轮冲向导轮的液流速度及液流方向与导轮叶片的夹角大小有关。在同样

的液流速度下，液流方向与导轮叶片的夹角越大，增矩作用也越大。在涡轮未转动时，从涡轮内缘冲向导轮叶片的液流方向就是涡轮内缘处叶片的方向（图 1-7b），此时，液流方向与导轮叶片的夹角最大，增矩作用也最大。当涡轮转动起来以后，从泵轮冲向涡轮的液流除沿涡轮叶片流动外，还将随涡轮一起作旋转运动，这样，从涡轮内缘冲向导轮叶片的液流方向将向涡轮旋转方向偏斜，使之与导轮叶片的夹角变小，增矩作用也随之减小。涡轮的转速越高，从涡轮冲向导轮的液流与导轮叶片的夹角就越小，增矩作用也就越小。当涡轮的转速高至使涡轮冲向导轮的液流方向与导轮叶片之夹角为 0 时，变矩器就无增矩作用。如果涡轮的转速再增高，从涡轮内缘冲向导轮的液压油将冲击导轮叶片的背面（图 1-7c），这时，不但不能增矩，反而起了减矩的作用。

为了避免变矩器在涡轮高速转动时的扭矩减小，导轮与固定轴之间加装了一个单向离合器。当涡轮的转速较低，涡轮冲向导轮的液流方向与导轮叶片的夹角大于 0（能起增矩作用）时，单向离合器锁止，使导轮不能转动，变矩器能正常地起增矩作用。当涡轮的转速高至使其内缘液流冲向导轮叶片背面时，单向离合器无锁止作用，导轮能自由转动。这时，导轮对液压油就无反作用力，从而避免了导轮的减矩作用，此时变矩器的工作特性也就与偶合器相当了。

2. 导轮单向离合器的原理

液力变矩器所采用的单向离合器主要有滚柱式和楔块式两种结构，图 1-8 所示为一种楔块式单向离合器的工作原理。

单向离合器的内圈固定不转，外圈通过花键与导轮相连。内外圈之间的楔块，长对角尺寸大于内外圈之间的间隙，短对角尺寸小于内外圈之间的间隙。于是，当导轮带动外圈顺时针转动时，楔块在摩擦力的作用下立起，其对角大端将内外圈卡紧，单向离合器处于锁止状态。当导轮带动外圈逆时针转动时，楔块的对角大端松开，外圈及导轮即可自由转动。

（三）锁止离合器的作用与原理

液力变矩器的传动效率较低。为了充分利用发动机的功率，降低油耗，在现代自动变速器的液力变矩器中设置了一个锁止离合器，用于在车速较高时，将变矩器锁定，使之成为一个纯机械传动。设置锁止离合器的液力变矩器的动力传递工况如图 1-9 所示。设置锁止离合器的变矩器的结构如图 1-10 所示。

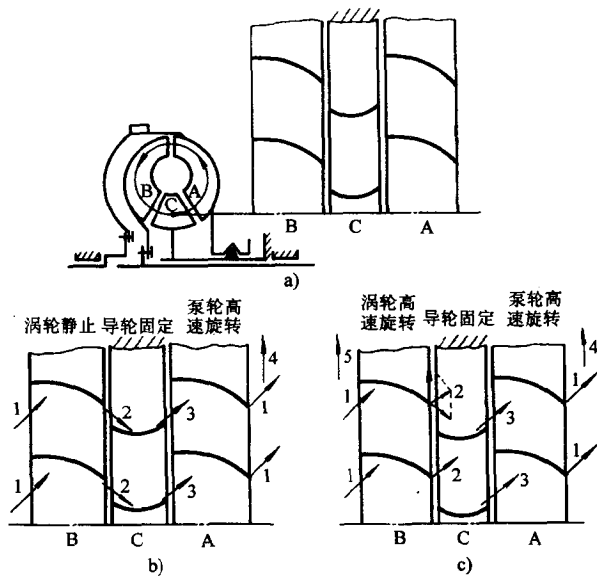


图 1-7 液力变矩器的工作原理

- a) 泵轮、涡轮及导轮叶片的展开示意图 b) 涡轮静止时的导轮增矩作用 c) 涡轮高速旋转时的导轮减矩作用
 1—泵轮冲向涡轮的液流方向 2—涡轮冲向导轮的液流方向
 3—导轮冲向泵轮的液流方向 4—泵轮的旋转方向
 5—涡轮的旋转方向
 A—泵轮 B—涡轮 C—导轮

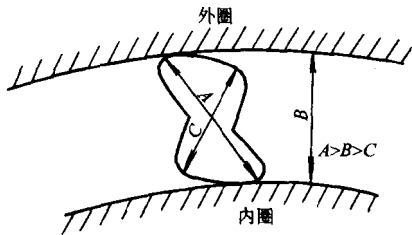


图 1-8 楔块式单向离合器的工作原理

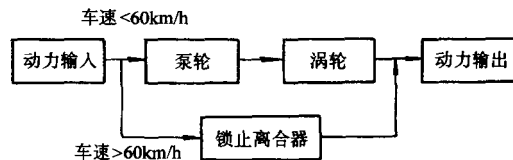


图 1-9 设置锁止离合器的液力变矩器工况

变矩器锁止离合器通常采用摩擦盘式结构，主动片与变矩器外壳直接相连，从动片可作轴向移动，通过花键与涡轮轴连接。锁止离合器的接合和分离由控制系统通过对其施加液压或释放液压进行控制。

(四) 变矩器液压油的供给和冷却

变矩器在传递动力过程中的能量损失主要是在液压油的内部摩擦过程中转化为热量，因此，工作中变矩器中的液压油的温度会升高而变质。自动变速器液压油正常工作温度一般为 $50 \sim 80^{\circ}\text{C}$ ，若超出正常温度 10°C ，变速器液压油的使用寿命将缩短一半。为使变速器的液压油保持正常温度，就必须对其进行冷却。

变矩器中的液压油冷却是通过循环流动实现的，由自动变速器油泵提供冷却了的液压油经进油道进入变矩器；高温液压油则从出油道流出，经油温散热器降温后流回变速器油底壳。

二、油泵

油泵是自动变速器的重要部件之一，它除了要向液力变矩器提供冷却循环所需的压力油外，同时还是液压控制系统和换档执行机构的液压源。自动变速器供油系统所采用的油泵主要有齿轮泵、摆线转子泵和叶片泵三种。油泵一般由变矩器壳后端的轴套驱动，因此，发动机一运转，油泵就运转工作。

1. 齿轮泵

由于自动变速器供油系统所提供的油压不高，通常不超过 200kPa ，因此使用最广泛的是齿轮泵。齿轮泵有内啮合式和外啮合式两种，内啮合式齿轮泵具有结构紧凑、自吸能力强、流量波动小和噪声低等优点，自动变速器大都使用内啮合式齿轮泵。内啮合式齿轮泵的组成和原理如图 1-11、图 1-12 所示。

内啮合式齿轮泵中的小齿轮是主动齿轮，内齿圈为从动齿轮，在壳体的轮槽内有一月牙形凸台，将主从动齿轮之间的工作腔分隔为吸油腔和压油腔。油泵工作时，主动齿轮带动内齿圈一起转动，在吸油腔，由于主、从动齿轮不断地脱离啮合，其容积是一个由小到大的变化过程，因而产生吸力，将油从进油口吸入；随着齿轮的转动，吸油腔内的油通过齿隙被带到压油腔，由于压油腔内齿圈是不断地进入啮合，其容积不断地从大到小变化，因此使油从出油口以一定的压力排出。

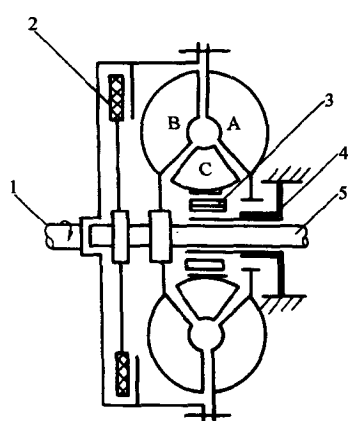


图 1-10 设置锁止离合器的液力变矩器的结构简图

- 1—输入轴 2—锁止离合器 3—单向离合器 4—导轴 5—输出轴
- A—泵轮 B—涡轮 C—导轮

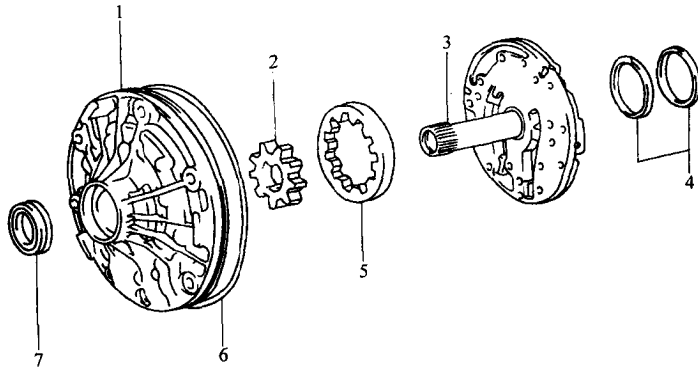


图 1-11 内啮合式齿轮泵的组成

1—泵体 2—主动齿轮 3—泵盖 4—密封圈 5—齿圈 6—O形密封圈 7—油封

发动机的转速变化时，油泵的转速随之改变，其泵油量也会相应地有所变化。

2. 转子泵

转子泵也被称之为摆线泵，其原理如图 1-13 所示。

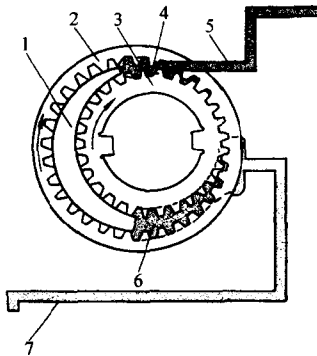


图 1-12 内啮合式齿轮泵的原理

1—月牙形隔板 2—内齿圈 3—主动齿轮 4—压油腔 5—出油道
6—吸油腔 7—进油道

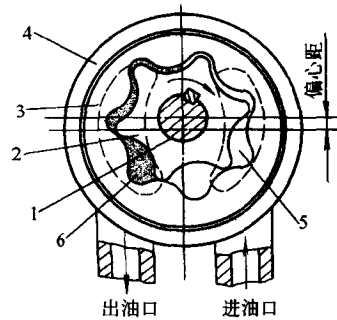


图 1-13 转子泵的原理

1—驱动轴 2—内转子 3—外转子 4—泵壳 5—进油腔
6—出油腔

转子泵的结构与内啮合式齿轮泵极为相似。内转子为主动轮，比外转子多一个齿，内转子的齿廓曲线为外摆线，外转子的内齿轮齿廓曲线是圆弧线。内、外转子齿廓是一对共轭曲线，保证了内、外转子不论转至什么位置，内转子各齿齿廓总有一点与外转子齿廓相接触，因此，在内、外转子之间就形成了与内转子齿数相等的工作腔。油泵工作时，内转子带动外转子一起转动，内、外转子之间各工作腔的容积会不断变化。在工作腔容积从小到大变化时（图 1-13 右边的工作腔），形成吸力，从进油口吸入液压油；工作腔容积从大到小变化时（图 1-13 左边的工作腔），则形成压力，将油从出油口排出。

相对于齿轮泵，转子泵结构简单紧凑、运转较为平稳、噪声小、高转速性能较好，缺点是流量脉动较大、加工精度要求较高。

3. 叶片泵

叶片泵主要由泵体、定子、转子及叶片等组成，如图 1-14 所示。

叶片泵的转子与定子不同心，叶片可在转子槽中滑动。油泵工作时，转子的转动使叶片在离心力的作用下向外张开，直到其外端面与定子的内圈表面接触。这样，两叶片间形成了工作腔。在进油口区，工作腔容积从小到大变化，产生吸力，将油从进油口吸入；转至出油口区时，两叶片间形成的工作腔容积从大到小变化，产生压力，将油从出油口排出。

叶片泵具有运转平稳、噪声小、流量脉动小、容积效率高的优点，但结构较为复杂，制造精度要求较高，比较适合于高压油泵。在自动变速器中采用的叶片泵通常是变量泵，通过改变转子与定子的偏心距来改变泵的排量。普通定量泵（泵的排量不变）的泵油量随发动机转速的上升而增大，在发动机高转速时，油泵的泵油量会远超过自动变速器的实际需要，多余的油量通过油压调节器返回油箱，过多的泵油量白白消耗了发动机的功率。变量泵可在发动机转速升高时，通过改变转子的偏心度来减小泵的排量，以使泵油量不至过大，从而减小了油泵在发动机高速时的运转阻力，降低了发动机的油耗。

定量油泵和变量油泵的工作特性如图 1-15 所示。

三、行星齿轮变速器

行星齿轮变速器由行星齿轮和换档执行机构（离合器、制动器及单向离合器）等组成。不同车型的自动变速器齿轮变速器各部分的结构类型、布置形式、部件数量往往不同，但其基本原理是相同的。图 1-16 是一种自动变速器的结构简图。

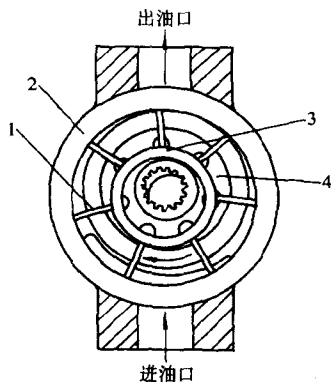


图 1-14 叶片泵

- 1—叶片 2—定子
- 3—定位环 4—转子

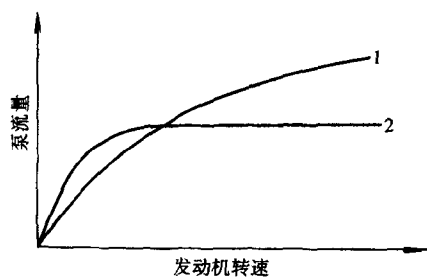


图 1-15 定量油泵与变量油泵的工作特性

- 1—定量油泵特性曲线 2—变量油泵特性曲线

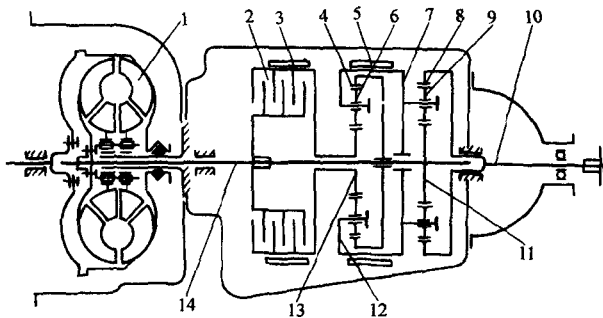


图 1-16 自动变速器的结构简图

- 1—液力变矩器 2—直接档离合器 3—低速档制动器 4—前排齿圈
- 5—倒档制动器 6 12—前排行星轮 7、9—后排行星轮 8—后排齿圈
- 10—变速器第二轴 11—后排太阳轮 13—前排太阳轮
- 14—变速器第一轴

(一) 行星齿轮的作用与原理

行星齿轮由太阳轮、行星齿轮及行星齿轮架、齿圈等组成，如图 1-17 所示。

根据力的平衡原理和能量守恒定律，可推导出行星齿轮的运动方程：

$$n_1 + un_2 - (1 + u)n_3 = 0$$

式中 n_1 、 n_2 、 n_3 ——分别为太阳轮、齿圈、行星架的转速；

u ——齿圈与太阳轮的齿数比 (z_2/z_1)。

从行星齿轮的运动方程中可看出，将太阳轮、齿圈和行星架这三个构件中的某一个构件固定（予以制动，使其转速为 0），另一个连接输入轴，还有一个连接输出轴，可获得 6 种不同的传动方式。加上任意两构件连锁（直接传动）和任何构件都不加限制（自由空转），单排行星齿轮就有 8 种传动方案的选择。

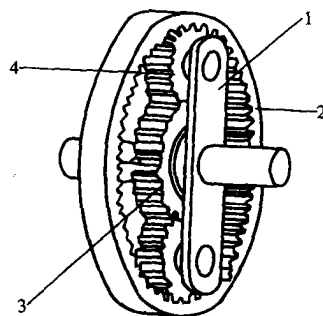


图 1-17 行星齿轮的组成

1—行星齿轮架 2—齿圈
3—太阳轮 4—行星轮

1. 前进档减速传动

(1) 齿圈制动，太阳轮输入，行星架输出 由于 $n_2 = 0$ ，这时输入输出的传动比为

$$i_{1-3} = n_1/n_3 = 1 + u = 1 + z_2/z_1$$

这是一种传动比大于 2 的减速传动。

(2) 太阳轮制动，齿圈输入，行星架输出 由于 $n_1 = 0$ ，这时的输入输出传动比为

$$i_{2-3} = n_2/n_3 = 1 + 1/u = 1 + z_1/z_2$$

这是一种传动比大于 1 但小于 2 的减速传动。

2. 前进档超速传动

(1) 齿圈制动，行星架输入，太阳轮输出 由于 $n_2 = 0$ ，这时的输入输出传动比为

$$i_{3-1} = n_3/n_1 = 1/(1 + u) = z_1/(z_1 + z_2)$$

这是一种传动比小于 0.5 的超速传动。

(2) 太阳轮制动，行星架输入，齿圈输出 由于 $n_1 = 0$ ，这时的输入输出传动比为

$$i_{3-2} = n_3/n_2 = u/(1 + u) = z_2/(z_1 + z_2)$$

这是一种传动比大于 0.5，小于 1 的超速传动。

3. 倒档传动

(1) 行星架制动，太阳轮输入，齿圈输出 由于 $n_3 = 0$ ，这时的输入输出传动比为

$$i_{1-2} = n_1/n_2 = -u = -z_2/z_1$$

这种传动方式齿圈与太阳轮的转动方向相反，是传动比大于 1 的倒档减速传动。

(2) 行星架制动，齿圈输入，太阳轮输出 由于 $n_3 = 0$ ，这时的输入输出传动比为

$$i_{2-1} = n_2/n_1 = -1/u = -z_1/z_2$$

这是一种传动比小于 1 的倒档升速传动。

4. 直接档传动

太阳轮、齿圈、行星架中的任意两个锁定在一起，这时各齿轮之间都不会有转动，整个行星轮系将作刚体转动，因此，这是一种传动比为 1 的直接档传动。

5. 空档

太阳轮、齿圈、行星架都不制动，也无两个互相锁定，这时，太阳轮、齿圈、行星架均可自由转动。输入轴转动时，输出轴可以不转动，这种情况下行星齿轮不传递动力，实现了空档。

由于受结构的限制，单排行星齿轮的传动比范围有限，不能满足汽车行驶的实际需要，因此在自动变速器中一般有两排或三排行星齿轮。行星齿轮之间，通过选择不同离合器的接合，形成不同的传动组合来获得不同的传动比。

（二）换挡执行机构

1. 离合器的作用与原理

在行星齿轮变速器中，离合器的作用是连接，有两种连接：

（1）将行星齿轮中的某个构件与行星齿轮变速器的输入轴等主动部分连接，使之成为主动构件。

（2）将行星齿轮中的两个构件连接起来，使之成为一个整体，以实现直接传动。

作为行星齿轮变速器换挡执行元件之一的离合器，一般采用多片湿式离合器，其组成如图 1-18 所示。

主动摩擦片和从动摩擦片均用钢片制成。一般是在主动片的两面烧结有粉末冶金摩擦材料，因此主、从动片之间就构成了钢-粉末冶金摩擦副。这种湿式离合器的摩擦片都浸在油液中工作，可使接合柔和并有利于散热。工作时，控制离合器接合的压力油进入活塞工作腔，推动活塞移动，通过压盘将主、从动摩擦片压紧，实现离合器的接合。当活塞工作腔的油压释放后，回位弹簧使活塞回位，主、从动摩擦片放松，离合器处于分离状态。

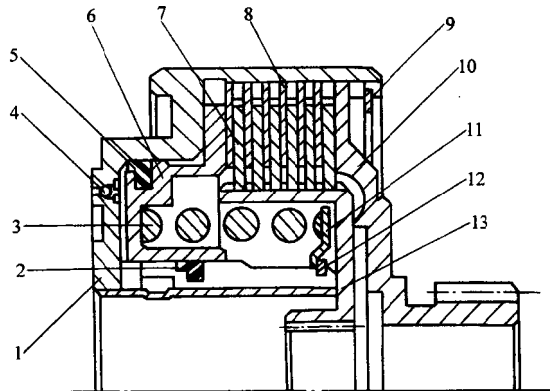


图 1-18 离合器的组成

1—离合器鼓 2、5—油封 3—回位弹簧 4—单向阀
6—活塞与压盘 7—主动摩擦片 8—从动摩擦片 9—卡环 10—太阳轮 11—弹簧座 12—卡环 13—花键鼓

2. 制动器作用与原理

制动器的作用是使行星齿轮中的某一构件固定，以实现某一行星齿轮传动的组合。制动器有制动带式和摩擦片式两种结构形式。摩擦片式制动器的结构与起连接作用的多片

湿式离合器基本相同，所不同的只是制动鼓（相当于离合器鼓）是固定不动的，因此，摩擦片接合时的效果是制动而不是连接传动。这种结构形式的制动器平顺性要优于带式制动器，不同排量的发动机只需通过增减摩擦片即可，适应性较强，因此现代汽车自动变速器采用摩擦片式制动器日趋增多。

带式制动器的基本组成件是制动鼓、制动带、液压缸和调整机构等。根据液压缸活塞推动制动带动作机构的不同，带式制动器可分为直推式、杠杆式和连杆式等三种。图 1-19 所示为直推式带式制动器。

不同形式的带式制动器的基本结构和原理是相同的，制动鼓与需要被制动的某行星齿轮构件相连，制动带则与变速器壳体相连。当控制制动的液压油进入液压缸活塞工作腔时，活塞被推动，通过推杆使制动带将制动鼓抱紧，实现对行星齿轮某一构件的制动。当活塞工作

腔液压被释放时，活塞在回位弹簧力的作用下回位，制动带放松，行星齿轮某构件的制动则被解除。

在非制动状态下，制动带与制动鼓之间应保持适当的间隙，否则将影响制动器的正常工作。其间隙的大小可通过调整螺钉来调节：将调整螺钉拧紧后再退回 2~3 圈即可。

3. 单向离合器的作用

在行星齿轮变速器中使用的单向离合器，作用与离合器及制动器相同，也是用来连接或制动行星齿轮构件，以形成不同的传动组合。单向离合器以自身的单向锁止功能来实现连接和制动，无需控制机构对其控制，而是由与之连接的行星齿轮构件的受力方向来确定锁止（连接或制动）或释放（自由转动）。在变换档位的过程中，单向离合器可使与其连接的构件受力方向发生变化的瞬间立即产生接合或脱离，以使换档平顺、无冲击。

单向离合器的这些作用如果都由离合器和制动器来完成，液压控制系统将会更加复杂。因此从某种程度上讲，单向离合器的使用简化了自动变速器换档控制系统。

行星齿轮变速器中单向离合器的结构原理与变矩器中用于导轮单向锁止作用的单向离合器完全相同，通常使用的结构形式也是滚柱式和楔块式两种。

（三）行星齿轮变速器结构与换档原理

行星齿轮机构有多种形式，现代电子控制自动变速器中最常见的是辛普森式行星齿轮机构，拉维奈尔式行星齿轮机构在自动变速器中也有应用。

1. 辛普森式行星齿轮自动变速器的换档原理

辛普森式行星齿轮机构由两独立的行星排组成，啮合方式如图 1-20 所示。辛普森式行星齿轮的结构特点是前后行星排共用一个太阳轮组。配上相应的换档执行元件，可使辛普森式行星齿轮机构成为 3 前进档和 4 前进档自动变速器。

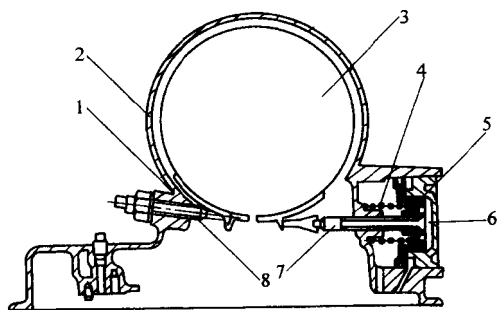


图 1-19 带式制动器的结构

1—变速器壳 2—制动带 3—制动鼓 4—回位弹簧
5—活塞 6—活塞工作腔 7—推杆 8—调整螺钉

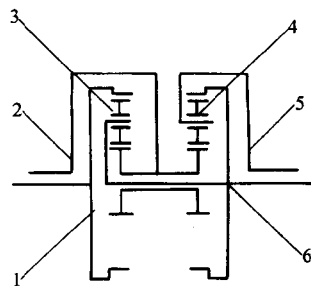


图 1-20 辛普森式行星齿轮机构

1—前齿圈 2—前后太阳轮组件
3—前行星轮 4—后行星轮 5—后行星架
6—前行星架与后齿圈组件

辛普森式 3 档行星齿轮变速器的结构和原理如图 1-21 所示。以辛普森式 3 档行星齿轮变速器为例，说明辛普森式行星齿轮自动变速器的换档原理。

当自动变速器操纵手柄在 D、R、S（或 2）、L（或 1）各档位时，变速器换档执行机构各元件的状态如表 1-2 所示。

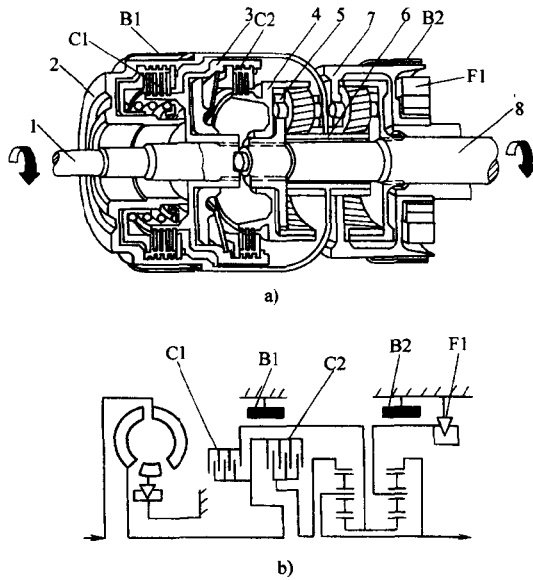


图 1-21 辛普森式 3 档行星齿轮变速器

a) 齿轮变速器的结构 b) 变速器换挡执行机构的布置

- 1—输入轴 2—倒档及高档离合器鼓 3—前进离合器鼓和倒档及高档离合器鼓
 4—前进离合器鼓和前齿圈 5—前行星架 6—前后太阳轮组件 7—后行星架和
 低档及倒档制动器鼓 8—输出轴 C1—倒档及高档离合器 C2—前进档离合器
 B1—II 档制动器 B2—低档及倒档制动器 F1—低档单向离合器

表 1-2 辛普森式 3 档行星齿轮变速器各档位换挡执行元件的状态

变速器操纵手柄位置	变速器档位	换挡执行元件状态				
		C1	C2	B1	B2	F1
D	I 档		○			○
	II 档		○	○		
	III 档	○	○			
R	倒档	○			○	
S、L (2、1)	I 档		○		○	
	II 档		○	○		

注：○—表示结合、制动或锁止。

(1) 自动变速器操纵手柄在 D 档位 自动变速器操纵手柄在 D 档位时，其控制系统将根据车速、节气门开度及其它信号自动变换前进档位。

1) I 档时的变速器工作状况 前进档离合器 C2 接合，输入轴与前排齿圈连接，单向离合器处于自锁状态，因此后行星架被固定。这时前后行星齿轮都传递动力，其传动路线如图 1-22 所示。

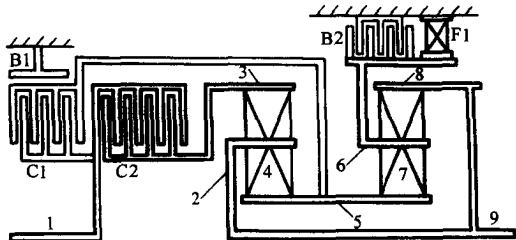


图 1-22 D 档位置时的 I 档传动路线

- 1—输入轴 2—前行星架 3—前齿圈 4—前行星轮
 5—前后太阳轮组 6—后行星架 7—后行星轮
 8—后齿圈 9—输出轴

2) II档时的变速器工作状态 前进档离合器 C2 接合,同时 2档制动器 B1 制动,行星齿轮变速器就处于 II档。这时输入轴仍通过前进档离合器 C2 连接前排齿圈,而 II档制动器 B1 将前后行星齿轮排的太阳轮组制动,前排行星齿轮传递动力,而后排行星齿轮处于空转状态。II档的传动路线如图 1-23 所示。

3) III档时的变速器工作状态 前进档离合器 C2 和倒档及高档离合器 C1 同时接合,这时,输入轴同时与前齿圈和太阳轮组连接。行星齿轮中的两个构件被连接在一起,使前排行星齿轮成为一整体而一起旋转,输入轴的动力通过前排行星齿轮传动给输出轴。III档的传动比为 1,即为直接档,其传动路线如图 1-24 所示。

(2) 自动变速器操纵手柄在 R(倒)档位 自动变速器操纵手柄拨至倒档时,倒档及直接档离合器 C1 接合,使输入轴与前后排太阳轮组连接,同时低档及倒档制动器 B2 制动,将后行星架固定。输入轴的动力通过离合器 C1 传递给前后太阳轮组,再经后行星齿轮、齿圈传递给输出轴,如图 1-25 所示。这时的太阳轮转动方向与输入轴相同,后行星轮转动方向与太阳轮相反,而后排齿圈转动方向则与行星轮相同,因此输入轴与输出轴逆向转动,实现了倒档传动。

(3) 自动变速器操纵手柄在 L(或 1)档位 自动变速器操纵手柄在 L 档位时,前进档离合器 C2 接合,输入轴与前排齿圈连接,低档及倒档制动器 B2 制动,将后行星架固定(图 1-26)。因此,这时的动力传递路线和传动比与自动变速器操纵手柄在 D 档位时的 I 档完全相同。L 档位与 D 档位时的 I 档不同之处是:L 档位时后行星架的固定是通过制动器制动实现,后行星架的被固定状态不会因其受力方向发生改变而释放。因此,汽车行驶中当司机松开加速踏板,发动机的转速迅速下降时,行星齿轮变速器会逆向传递动力,滑行的汽车会受到发动机的制动作用。而 D 档位时的 I 档由于后行星架的固定是通过单向离合器实现,当变速器输出轴的转速高于输入轴的转速时,单向离合器 F1 锁止作

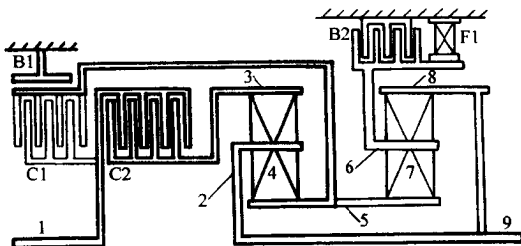


图 1-23 D 档位时的 II 档传动路线

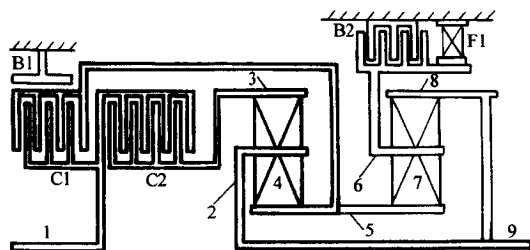


图 1-24 D 档位时的 III 档传动路线

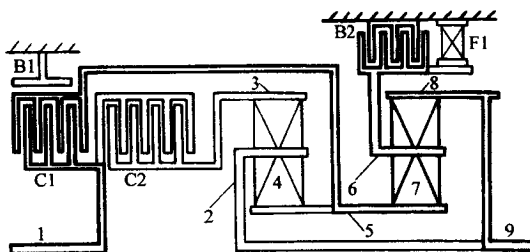


图 1-25 倒档位时的传动路线

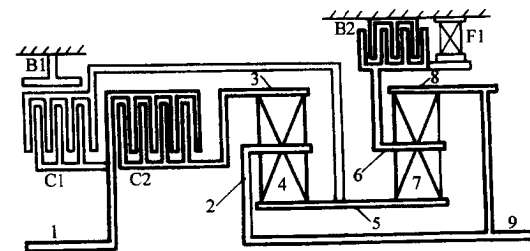


图 1-26 L 档位时的传动路线

用消失，后行星架将自由转动，前后排行星齿轮都将处于空转状态。因此，变速器在 D 档位时的 I 档状态不会逆向传递动力，对滑行的汽车的发动机也就不会有制动作用。

(4) 自动变速器操纵手柄在 S(或 2) 档位 自动变速器操纵手柄在 S 档位时，前进档离合器 C2 接合，同时 II 档制动器制动，其动力传递路线与传动比与操纵手柄在 D 档位时的 II 档状态完全相同。

现在汽车上都采用了辛普森式 4 档行星齿轮自动变速器，辛普森式 4 档行星齿轮变速器有两种类型，一种是在辛普森式 3 档行星齿轮变速器双排行星齿轮的基础上又增加一个行星齿轮机构，从而使前进档位的个数增加，构成 3 行星排的辛普森式 4 档行星齿轮变速器，其结构简图见图 1-27，各档的换档执行元件工作情况如表 1-3 所示。另一种是在双排行星齿轮的基础上通过增加换档执行元件的个数，使行星齿轮各独立单元之间的组合更多，以增加前进档位的个数。图 1-28 就是一种双行星排辛普森式 4 档行星齿轮变速器。双行星排辛普森式 4 档行星齿轮变速器在不同档位时各换档执行元件的工作情况如表 1-4 所示。

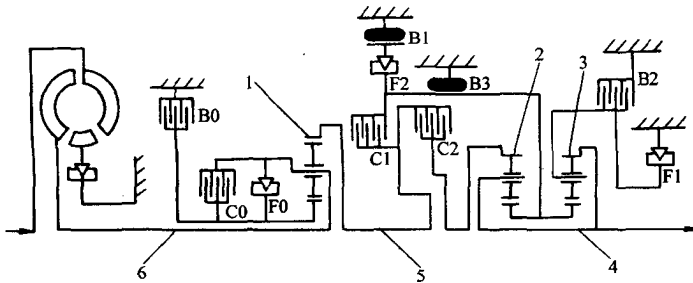


图 1-27 3 行星排辛普森式 4 档行星齿轮变速器的结构简图

1—超速档行星排 2—前行星排 3—后行星排 4—输出轴 5—中间轴 6—输入轴 C0—直接离合器
C1—倒档及高档离合器 C2—前进离合器 B0—超速档制动器 B1—II 档制动器 B2—低档及倒档制动器
B3—II 档强制制动器 F0—直接单向离合器 F1—低档单向离合器 F2—II 档单向离合器

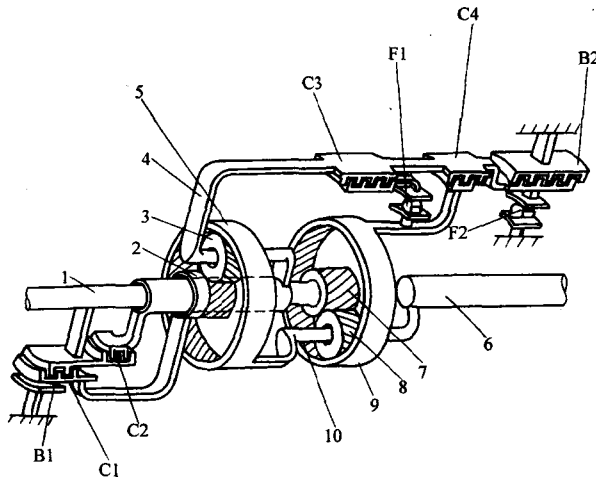


图 1-28 行星排辛普森式 4 档行星齿轮变速器

1—输入轴 2—前太阳轮 3—前行星轮 4—前行星架 5—前齿圈 6—输出轴 7—后太阳轮 8—后行星轮
9—后齿圈 10—后行星架 C1—倒档离合器 C2—高档离合器 C3—前进离合器 C4—前进强制离合器
B1—II 档及 IV 档制动器 B2—低档及倒档制动器 F1—前进单向离合器 F2—低档单向离合器

表 1-3 3 行星排辛普森式 4 档行星齿轮变速器各换档执行元件的工作情况

变速器操纵 手柄位置	变速器 档 位	换档执行元件状态										
		C0	C1	C2	B0	B1	B2	B3	F0	F1	F2	
D	I 档	○		○						○	○	
	II 档	○		○		○				○		○
	III 档	○	○	○		●				○		
	超速档		○	○	○	●						
R	倒档	○	○				○		○			
S、L (2、1)	I 档	○		○			○		○			
	II 档	○		○		●		○	○			
	III 档	○	○	○					○			

注：○—表示结合、制动或锁止；●—表示结合或制动，但不传递动力。

表 1-4 2 行星排、辛普森式 4 档行星齿轮变速器各换档执行元件的工作情况

变速器操纵 手柄位置	变速器 档 位	换档执行元件状态							
		C1	C2	C3	C4	B1	B2	F1	F2
D	I 档			○				○	○
	II 档			○		○		○	
	III 档		○	○				○	
	超速档		○	●		○			
R	倒档	○					○		
S、L (2、1)	I 档			●	○		○		
	II 档			●	○	○			
	III 档		○	●	○				

注：○—表示结合、制动或锁止；●—表示结合或制动，但不传递动力。

2. 拉维奈尔式行星齿轮自动变速器的换档原理

拉维奈尔行星齿轮机构的组成和啮合方式如图 1-29 所示。拉维奈尔式行星齿轮机构的结构特点是前后行星排共用一个齿圈和一个行星架，长行星轮也为两行星排共用，其中一行星排有长、短两个行星轮。配上相应的换档执行元件，可使拉维奈尔行星齿轮机构成 3 前进档或 4 前进档行星齿轮变速器。

拉维奈尔式 4 档行星齿轮变速器的组成与原理如图 1-30 所示，各档的换档执行元件工作情况如表 1-5 所示。

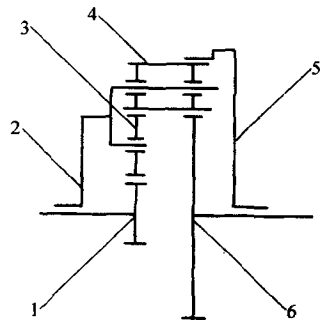


图 1-29 拉维奈尔式行星齿轮机构

- 1—前太阳轮 2—行星架
- 3—短行星轮 4—长行星轮
- 5—齿圈 6—后太阳轮