

现代汽车技术丛书

汽车自动变速器

——结构·原理

■ 过学迅 编著



机械工业出版社

63.2

1

现代汽车技术丛书

汽车自动变速器

——结构·原理

过学迅 编著



机械工业出版社

本文以常用的液力自动变速器为例,重点介绍了组成液力自动变速器的各主要部分——液力变矩器、行星齿轮机构、液压操纵系统、电子控制系统等的结构和原理。从国产红旗轿车二档自动变速器起,由浅入深地进行介绍,然后讲述和分析日本、美国、德国等国的三档及目前常用的四档液力自动变速器的结构和原理,对其换档特性、液压油路进行分析。文中还介绍电子控制式机械变速器。使读者对自动变速器有较系统的了解,为自动变速器的使用 and 维修打下坚实的基础。

本书可供从事汽车修理的工程技术人员学习,也可供大专院校相应专业高年级大学生和研究生参考。

图书在版编目(CIP)数据

汽车自动变速器——结构·原理/过学迅编著.-北京:机械工业出版社,1999.3

ISBN 7-111-07021-6

I. 汽… I. 过… III. 汽车-自动变速装置-基本知识 IV. U463.212

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 03710 号

出 版 人:马九荣(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:吴柏青 刘 煊 版式设计:冉晓华 责任校对:李秋荣

封面设计:姚 毅 责任印制:路 琳

北京机工印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

787mm×1092mm^{1/16}·11 印张·1 插页·270 千字

0 001—3 000 册

定价:19.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010)68993821、68326677-2527

前 言

装备了自动变速器的汽车，在行驶时自动变速器能根据发动机负荷和道路阻力的变化情况，在一定范围内实现自动无级变速。它不像手动变速器那样，在行驶时需要频繁地操纵变速器进行换档。从而使汽车驾驶变得更简单、更省力和更安全。此外，自动变速器还具有许多优点：使汽车起步、加速平稳；防止因过载或因离合器及节气门踏板配合操作不当导致的发动机熄火，因而特别适合非职业驾驶；自动变速器中的液力元件，能吸收动力传动系统的振动及减小动载荷，较大幅度地延长了发动机和传动系统的使用寿命；自动变速器还能提高汽车的加速性、平均车速和乘坐舒适性等。因此在汽车尤其是轿车中使用得越来越多。

自动变速器在汽车上的应用已有 70 来年的历史。但早期的自动变速器由于其效率低、油耗高、价格贵，因此只在对行驶性能要求较高的军用车辆、公共汽车和高档轿车上使用。70 年代后，随着汽车工业的进步，计算机和电子技术的应用，自动变速器的性能有了很大改善。许多中高档甚至中低档轿车都装备了自动变速器。到了 90 年代，自动变速器已经发展成为机电液一体化的高技术产品。其在汽车上的装备率也大大提高。据统计，城市使用的客车和公共汽车，在美国，自动变速器装备率已达 100%，欧洲发达国家的装备率也在 90% 以上。1992 年美国国内行驶的轿车有 80% 带自动变速器。以生产车型紧凑、油耗低、价格便宜的经济型轿车而著称的日本，1993 年生产的轿车中有 75% 装备了自动变速器。由此可以看出自动变速器的普及趋势。

80 年代，我国国内只是在沿海地区和大城市才能看到一些装备自动变速器的轿车。但最近几年，在内地的许多县城，也能发现带有自动变速器的轿车。国产轿车中除原红旗 CA770 轿车采用了自动变速器外，新近生产的“捷达王”和“风神—雪铁龙”，都将自动变速器作为选装件；“富康”1.6L 电喷发动机的车型，已将其配备自动变速器的新车投放市场。即将投产的上海通用汽车公司所生产的“别克”轿车，也装备有自动变速器。因此，自动变速器进入我们生活的速度，比预想的要快。

然而，现代自动变速器毕竟是高技术的成果，与手动变速器相比，无论是结构还是工作原理都要复杂得多。因此，对从事汽车自动变速器修理的技术人员和进行自动变速器设计和生产的专业人员，都提出了很高的要求。本书作者从事自动变速器的教学和研究工作十余年，具有较丰富的教学经验。在与不同年龄和知识结构的从事自动变速器修理的人员接触中，发现不少人急功近利，往往对自动变速器的基本工作原理还没搞懂，就急于开始对自动变速器进行修理，其结果大都是越修问题越大。因此，对汽车维修人员而言，熟悉自动变速器的基本构造和原理，了解必要的电子控制方面的知识，是顺利完成自动变速器修理任务的前提。在此基础上，掌握一两种典型自动变速器的修理技能，然后逐渐熟悉其他自动变速器的修理，方能达到举一反三，获得事半功倍的效果。这也就是本书的写作目的。

本书在编写过程中，得到了好友提供的珍贵资料，并参考了汽车界同仁的一些著作，在此一并表示感谢。

自动变速器的结构和原理涉及机械、液压、电子、控制等多个学科，而由于作者水平有

限，在编写过程中，难免有不少疏漏之处，敬请各位读者指正。

编著者
于华中理工大学

目 录

前言	
第一章 绪论	1
第一节 自动变速装置的类型和应用	1
一、液体传动	1
二、机械传动	3
三、电力传动	4
第二节 自动变速装置的优缺点	4
一、自动变速的优点	4
二、自动变速的缺点	5
第二章 液力自动变速器的结构和工作原理	6
第一节 液力变矩器	6
一、液力偶合器	6
二、液力变矩器	8
第二节 行星齿轮变速器	15
一、齿轮传动的一般规律	15
二、行星齿轮机构的结构和工作原理	16
三、行星齿轮变速器的换档执行机构	
工作原理	18
四、行星齿轮变速器的基本工作原理	23
五、典型行星齿轮变速器工作分析	27
第三节 液压控制系统的结构和原理	42
一、液压泵	42
二、主油路系统	43
三、换档信号系统	44
四、换档阀组	48
五、缓冲安全系统	51
六、液力变矩器控制装置	53
七、液压控制系统的工作原理	56
第四节 自动换档规律	74
第五节 电液式控制系统的结构和工作原理	76
一、电子控制装置	76
二、电液式控制系统的液压阀	97
第三章 电子控制机械式自动变速器	105
第一节 概述	105
第二节 离合器的自动控制	106
一、离合器最佳接合规律	106
二、离合器的执行机构	108
第三节 变速器换档及发动机供油的	
控制	109
一、变速器换档自动控制	109
二、发动机节气门开度的自动控制	109
第四节 电子控制单元	109
一、组成及特点	109
二、控制功能及原理	112
第五节 特殊控制装置	112
一、坡道辅助起步装置	112
二、电控式应急系统	113
三、机械式应急系统	113
第四章 日本丰田轿车自动变速器构造及原理	115
第一节 A240L 型及 A240E 型自动变速器	115
一、A240L 型自动变速器	115
二、A240E 型自动变速器	132
第二节 A340E 型自动变速器	133
第五章 美国通用汽车公司自动变速器构造及原理	137
第一节 概述	137
第二节 4T60E 型自动变速器	137
一、4T60E 型自动变速器简介	137
二、行星齿轮变速器	137
三、液压系统工作原理	141
四、电控系统工作原理	158
第六章 德国大众汽车公司自动变速器构造及原理	162
一、行星齿轮变速器	162
二、分动器、中央差速器及锁止机构	165
三、自动变速器操纵装置	165
四、电液控制系统	167
参考文献	170

第一章 绪 论

由于发动机输出的转速和转矩与车辆驱动轮所需的转速和转矩之间存在着矛盾，必须设立传动系来解决，即通过传动系改变传动比，调节发动机的性能，将动力传至车轮，以适应外界负荷与道路条件变化的需要。因此，车辆行驶性能的好坏，不仅取决于发动机，而且在很大程度上还依赖于传动系以及传动系与发动机的匹配。

传动系的性能，很重要的两个标志是经济性和方便性。经济性就是传动系本身的功率损失要小，即效率要高。方便性则是指档位的变换容易实现。在汽车一百多年的发展历史中，传动系的发展始终围绕着这两个目标。从最初档位固定的减速器，到有多个档位可变换的齿轮变速器，直到现在应用计算机控制实现换档的自动变速器，都有力地推动了汽车技术和汽车工业向前发展。车辆传动系的自动变速一直是人们追求的目标，也是目前汽车技术发展的高级阶段的标志。自动变速技术最早仅用于军用车辆和客车上，随着机械制造、电子和计算机技术的发展，使得自动变速装置的制造和控制越来越完善，在越来越多的车辆上得到应用。

第一节 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，引起机械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耦合器或液力变矩器。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，更适合于地面行驶车辆的要求。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，应用于公共汽车上，随后又用于其它车辆。

然而，液力变矩器存在着效率不够高，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，而需串联或并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。

以液力耦合器或液力变矩器与旋转轴式变速器组合，就可得到动力换档变速器。这种变

速器被较多地用于工程机械和重型运输车辆。若在动力换档变速器的基础上,再加上自动变速控制系统,便得到液力自动变速器(Automatic Transmission,简称AT)。这种动力换档变速器或自动变速器中的液力元件除可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、混合分流等多相自动变速。

从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档位的方法。90年代,电子技术的大量应用,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1-1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 1-1 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/100km)		城市油耗/ (L/100km)
		$v_a=90\text{km/h}$	$v_a=120\text{km/h}$	
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

由上表可见,同一汽车装备三档自动变速器时,高速行驶的百公里油耗大于装备五档手动机械变速器,但城市行驶百公里油耗则小于装备五档手动机械变速器。而汽车装备四档自动变速器时,不仅城市行驶百公里油耗小于同一汽车装备五档手动机械变速器,而且高速行驶时的百公里油耗与同一汽车装备五档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(表1-2)。

表 1-2 两种安装不同变速器的轿车油耗比较

车 型		BMW728i (德国) 装机械变速器	Datsun280C (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/100km)	10.9	11.28
城市行驶	平均车速/ (km/h)	28.24	29.4
	油耗/ (L/100km)	13.7	12.87
整车试验质量/kg		1674	1625

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,加之电子技术的应用,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,美国是 100%,西欧国家为 95%。在工程机械、军用车辆上的应用也很普遍。

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力能来传递和变换能量的。其基本元件是液压泵和液压马达。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马达,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,元件的制造成本高,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,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 Transmission,简称 AMT)。这种自动变速器主要有三个部分:自动离合器、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。这只有在电子技术相当发展的条件下才有可能实现。从 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起步过程自动化,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。

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变速器“NAVI-5”,并装于 ASKA 轿车上。在车速为 60km/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 档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能自动变速的优点,又有普通齿轮变速器传动效率高、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. 无级式机械传动

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,又受传动带寿命的影响。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 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半径上“咬合”来改变速比。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投产。

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，从而大幅度改善燃油经济性。但由于 CVT 是摩擦传动，与齿轮传动相比效率并不高，从目前的情况来看，节省燃油 10%~20% 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。据制造商称，装备 CVT 的汽车每年约生产数十万辆，但从市场情况看来，这种车仍不多见。

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。电力传动有多种型式，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，代表了技术发展方向。

电力传动除具有起动及变速平稳，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；能将电动机转换为发电机状态实现制动。

但电传动的主要缺点是价格高，比液力传动还贵 20%，自重也大，故目前主要用在载重量 8.5t 以上的矿用自卸车上。

以蓄电池、燃料电池作为能源的电动汽车不属于上述电力传动汽车的范畴，它不使用石油燃料，无污染，能量转换效率高，可制成轿车、客车、小型货车，是未来汽车发展的一个方向。

第二节 自动变速装置的优缺点

根据上一节的介绍，在此可对自动变速装置的优缺点作一归纳。

一、自动变速的优点

1. 整车具有更好的驾驶性能

汽车驾驶性能的好坏，除与汽车本身的结构有关外，还取决于正确的控制和操纵。自动变速能通过系统的设计，使整车自动去完成这些使用要求，以获得最佳的燃料经济性和动力性。使得驾驶性能与驾驶员的技术水平关系不大，因而特别适合于非职业驾驶。

例如，发动机处于非经济转速区域内运转与处于经济转速区域内运转相比较，其油耗率相差近一倍。此外，变速器档位不同，传动效率的高低也有所不同。因此，要让汽车在每一种负载、路况下都能同时兼顾发动机的最低油耗和变速器的最高效率，即使对职业驾驶员而言也不是容易的事。但依靠自动变速技术，按照预先设定的最佳规律变换档位就能实现。

2. 良好的行驶性能

自动变速装置的档位变换不但快而且平稳，提高了汽车的乘坐舒适性。通过液体传动或微电脑控制换档，可以消除或降低动力传动系统中的冲击和动载。这对在地形复杂、路面恶劣条件下作业的工程车辆、军用车辆尤其重要。试验结果表明，在坏路段行驶时，自动变速的车辆传动轴上，最大动载转矩的峰值只有手动变速器的 20%~40%。原地起步时最大动载

转矩的峰值只有手动变速的 50%~70%。且能大幅度延长发动机和传动系统零部件的寿命。

3. 提高行车安全性

在车辆行驶过程中,驾驶员必须根据道路、交通条件的变化,对车辆的行驶方向和速度进行改变和调节。以城市大客车为例,平均每分钟换档 3~5 次,而每次换档有 4~6 个手脚协同动作。正是由于这种连续不断的频繁操作,使驾驶员的注意力被分散,而且易产生疲劳,造成交通事故增加;或者是减少换档,以操纵油门大小代替变速,即以牺牲燃油经济性来减轻疲劳强度。自动变速的车辆,取消了离合器踏板和变速操纵杆,只要控制油门踏板,就能自动变速,从而改善了驾驶员的劳动强度,使行车事故率降低,平均车速提高。

4. 降低废气排放

发动机在怠速和高速运行时,排放的废气中 CO 或 CH 化合物的浓度较高。而自动变速器的应用,可使发动机经常处于经济转速区域内运转,也就是在较小污染排放的转速范围内工作,从而降低了排气污染。

二、自动变速的缺点

从目前的情况来看,自动变速还存在着两方面的缺点:

1. 结构较复杂

与手动变速器相比,自动变速器结构较复杂,零件加工难度大,生产成本较高,修理也较麻烦。

2. 效率不够高

与手动变速器相比,自动变速器的效率还不够高。当然,通过与发动机的匹配优化、液力变矩器闭锁、增加档位数等措施,可使自动变速接近手动变速的效率水平。

第二章 液力自动变速器的结构和工作原理

汽车液力自动变速器的结构相当复杂，不同型号变速器的局部结构又各有所不同，使得自动变速器的结构多样化。因此，了解基本概念，掌握共性，就显得非常重要了。自动变速器的结构虽然复杂，但无论是哪一种，大致都由以下三部分组成：

- 1) 液力变矩器
- 2) 行星齿轮变速器
- 3) 液压操纵及控制系统

下面分别加以介绍。

第一节 液力变矩器

液力变矩器是自动变速器的核心组成部分之一。其作用是利用液体循环流动过程中动能的变化传递动力。为了便于理解液力变矩器的结构和工作原理，必须首先介绍液力偶合器。

一、液力偶合器

液力偶合器安装在汽车发动机和机械变速器之间，即主离合器的位置上。其主要零件如图 2-1a 所示，结构简图如图 2-1b 所示。

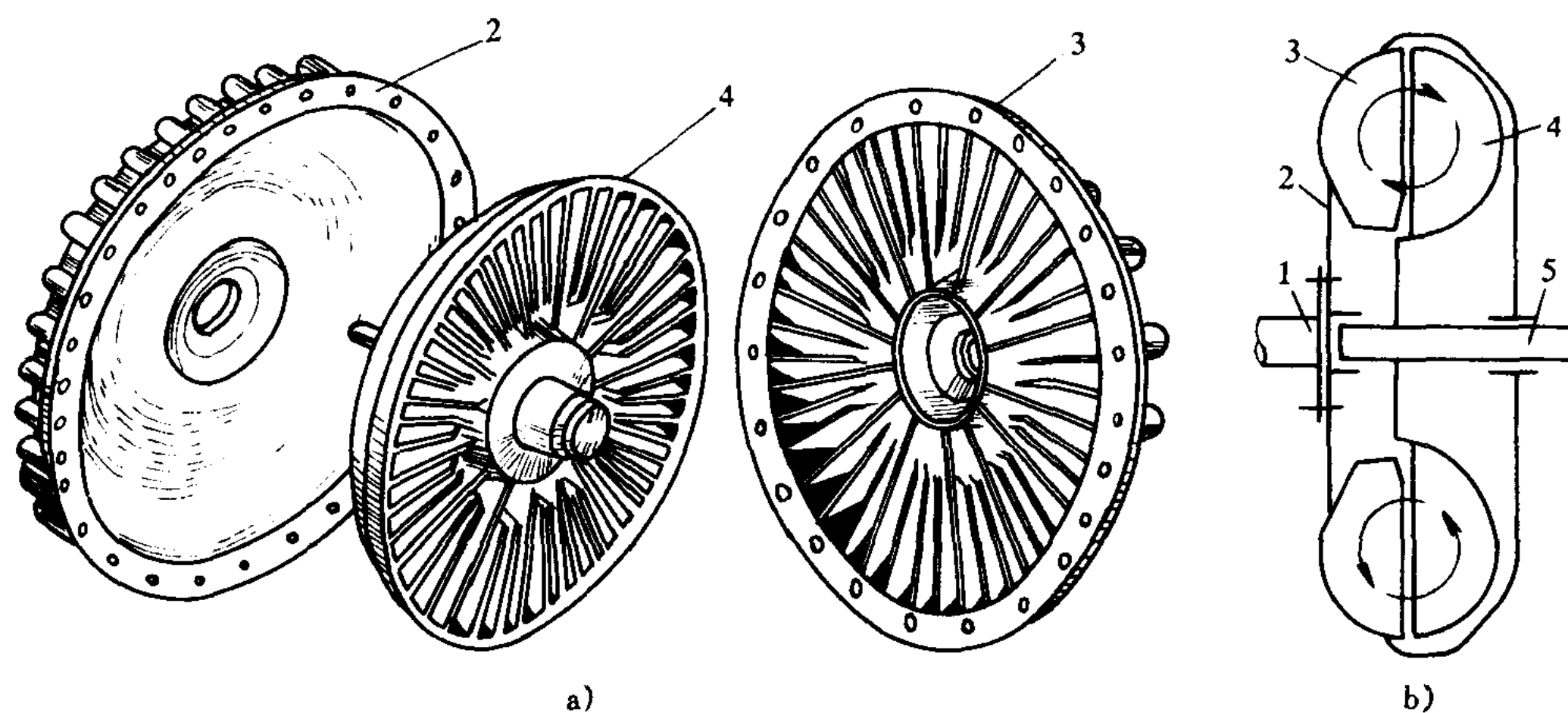


图 2-1 液力偶合器结构示意图

1—发动机曲轴 2—偶合器外壳 3—泵轮 4—涡轮 5—从动轴

液力偶合器外壳 2，固定在发动机曲轴 1 的凸缘上。叶轮 3 是液力偶合器的主动元件，称为泵轮，它和外壳 2 作刚性连接，与曲轴一起旋转。和从动轴 5 相连的叶轮 4，是液力偶合器的从动元件，称为涡轮。泵轮和涡轮都称为工作轮。在工作轮的环状壳体中，径向排列着许多叶片。涡轮装在密封的外壳 2 中，与泵轮叶片端面相对，二者之间留有约 3~4mm 间隙，没有刚性连接。泵轮和涡轮装合后，形成环形空腔，其内充有工作油液。通过轴线纵断面的环形，称为循环圆（图 2-1b）。

当工作轮转动时，其中的油液也被叶片带动一起旋转。在离心力作用下，油液从叶片内缘向外缘流动。因此，叶片外缘处压力较高，而内缘处压力较低，其压力差取决于工作轮的半径和转速。

由于泵轮和涡轮的半径相等，故当泵轮的转速大于涡轮的转速时，泵轮叶片外缘的液压力大于涡轮叶片外缘的液压力，于是，油液不仅随工作轮绕其旋转轴线作圆周运动，而且在上述压力差的作用下，沿循环圆作如箭头所示方向的循环流动。其形成的流线如同一个首尾相连的环形螺旋线（图 2-2）。

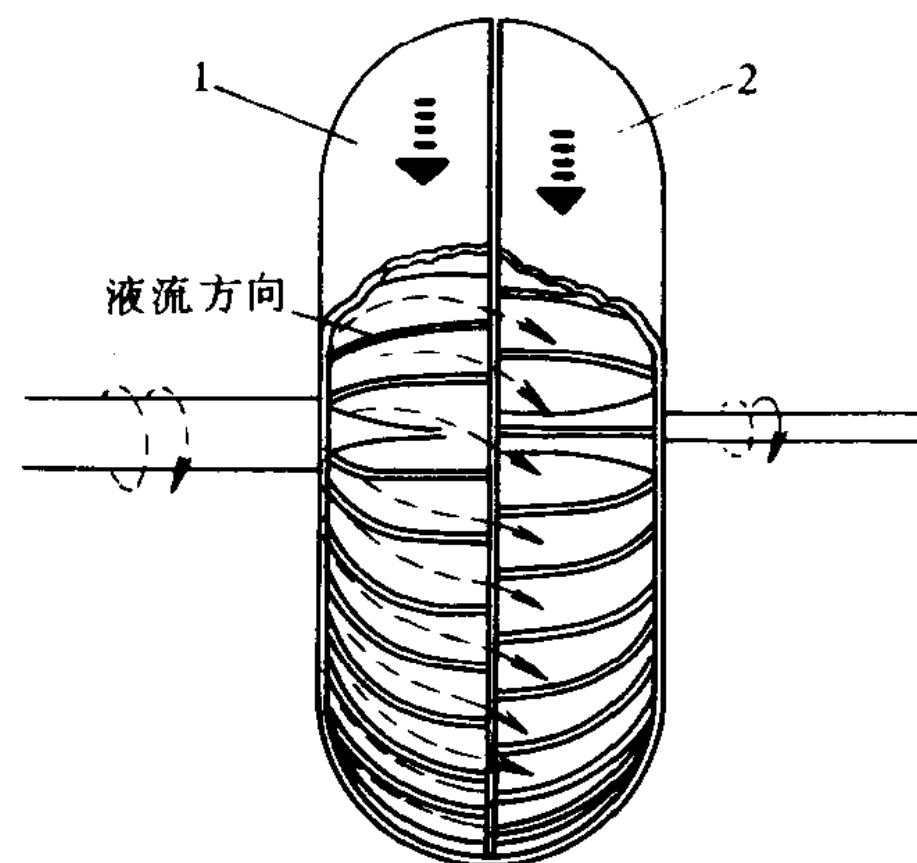


图 2-2 液力耦合器工作示意图

1—泵轮 2—涡轮

液力耦合器传递动力的过程是：泵轮接受发动机传来的机械能，在液体从泵轮叶片内缘向外缘流动的过程中，将能量传给油液，使其动能提高；然后再通过高速流动的油液冲击涡轮叶片，将动能传给涡轮。因此，液力耦合器实现传动的必要

条件是油液在泵轮和涡轮之间有循环流动，而循环流动的产生是由于两个工作轮转速不等，使两轮叶片的外缘处产生液压差所致。故液力耦合器在正常工作时，泵轮转速总是大于涡轮转速。如果二者转速相等，则液力耦合器不起传动作用。

发动机起动后，可将变速器挂上一定档位，此时，发动机驱动泵轮旋转，而与整车连着的涡轮暂时还处于静止状态，内部油液立即产生绕工作轮轴线的圆周运动和循环流动。当液流冲到涡轮叶片上时，对涡轮叶片造成冲击力，因而对涡轮作用一个绕涡轮轴线的转矩，力图使涡轮与泵轮同向旋转。对于一定的液力耦合器，发动机转速越大，作用在涡轮的转矩也越大。

加大发动机的供油量，使其转速达到一定值时，作用于涡轮上的转矩足以使汽车克服起步阻力，汽车开始起步。随着发动机转速的继续增高，涡轮连同汽车被不断加速。

由于液体在液力耦合器中作循环流动时，没有受到任何其它附加外力，故发动机作用于泵轮上的转矩与涡轮所接受并传给从动轴的转矩相等。即液力耦合器只起传递转矩的作用，而不改变转矩的大小。

设泵轮转速为 n_B ，涡轮转速为 n_w ， $\frac{n_w}{n_B}$ 为液力耦合器的转速比 i ，则耦合器的传动效率为

$$\eta = \frac{n_w}{n_B} = \frac{(M_w n_w)}{(M_B n_B)}$$

式中 η ——传动效率；

n_B ——泵轮输入功率；

n_w ——涡轮输出功率；

M_B ——泵轮输入转矩；

M_w ——涡轮输出转矩。

因作用在耦合器上的泵轮和涡轮的转矩相同，即 $M_B = M_w$ ，则

$$\eta = \frac{n_w}{n_B} = i$$

也就是说,液力耦合器的传动效率等于其转速比。涡轮与泵轮的转速差越大,转速比越小,传动效率就越低。反之,转速比越大,传动效率越高。在发动机进入运转并挂上了档,而汽车尚未起步时,泵轮虽转动而涡轮转速为0,此时耦合器的效率为0。汽车刚起步时,车速较低,涡轮转速也低,传动效率低。随着汽车加速,涡轮转速逐渐提高,涡轮对泵轮的转速比增大,耦合器的传动效率也随之增高。理论上说,当涡轮转速等于泵轮转速时,效率为100%。实际上,如涡轮转速等于泵轮转速,则涡轮与泵轮叶片外缘处的液压力将相等,从而使得耦合器内的循环流动停止,泵轮与涡轮间不再有能量传递,传动效率为0。一般而言,液力耦合器的最高效率可达97%左右。其效率曲线如图2-3所示。

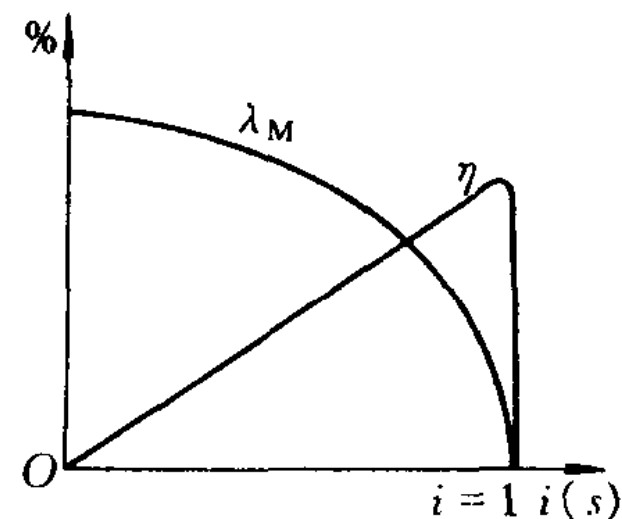


图 2-3 液力耦合器的特性曲线

由于液力耦合器是以液体作为传动介质,使得汽车起步和加速平稳,能够衰减传动系统的扭转振动并防止传动系过载,还能在暂时停车时不脱开传动系而维持发动机的怠速运转。但因耦合器不能改变所传递的转矩大小,使得相应的变速机构需增加档位。此外,由于液力耦合器不能使发动机与传动系彻底分离,为解决换档问题,在液力耦合器和机械变速器之间还须装一个换档离合器。从而使得整个传动系的重量增大,纵向尺寸增加。

60年代英国生产的劳斯莱斯轿车,美国生产的奥兹莫比尔轿车,苏联生产的吉姆轿车所用的自动变速器上,都装用过液力耦合器。但由于其上述缺点,近年来生产的轿车基本上不采用液力耦合器,而使用液力变矩器。

二、液力变矩器

1. 液力变矩器的组成

普通液力变矩器由可转动的泵轮和涡轮,以及固定不动的导轮这三个基本元件组成。其主要零件如图2-4a所示。汽车所用液力变矩器的工作轮一般都是钢板冲压焊接而成,而工程机械和一些军用车辆所用液力变矩器的工作轮则是用铝合金精密铸造成的。与液力耦合器不

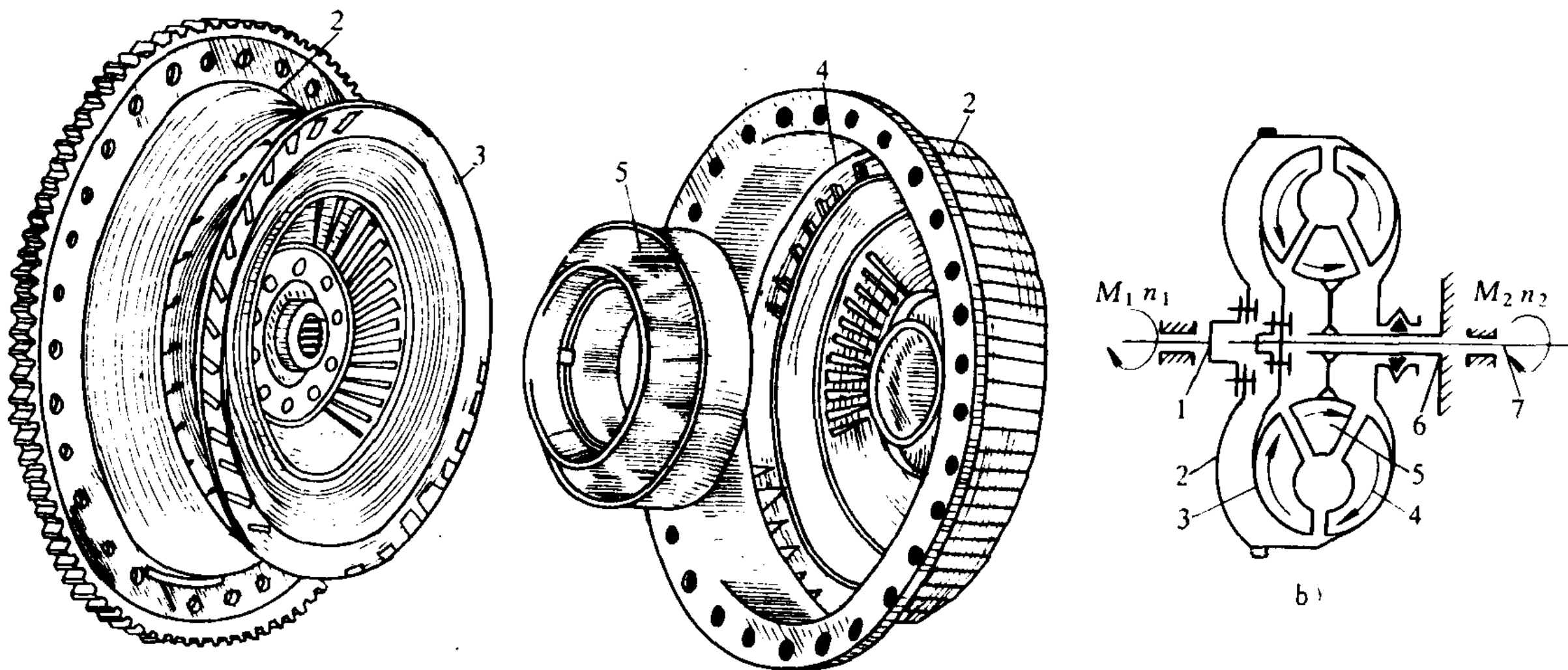


图 2-4 液力变矩器结构示意图

1—发动机曲轴 2—变矩器壳 3—涡轮 4—泵轮 5—导轮 6—导轮固定套管 7—从动轴

同的是,在液力变矩器的泵轮和涡轮之间,安装有导轮,并与泵轮和涡轮保持一定的轴向间隙,导轮通过导轮固定套固定在变速器壳体上。所有工作轮在装配后,形成的环状体的断面称为变矩器循环圆(图 2-4b)。

2. 液力变矩器的工作原理

和液力偶合器一样,液力变矩器在正常工作时,贮于环形腔内的油液,除有绕变矩器轴线的圆周运动外,还有在循环圆中如箭头所示的循环流动,故可将转矩从泵轮传至涡轮。

与液力偶合器不同的是,液力变矩器不仅能传递转矩,而且能在泵轮转矩不变的情况下,随着涡轮转速的不同自动地改变涡轮所输出的转矩值,即“变矩”。

液力变矩器之所以能起变矩作用,就是因为结构上比偶合器多了一个导轮机构。在液体循环流动的过程中,固定不动的导轮给涡轮一反作用力矩,使涡轮输出的转矩不同于泵轮输入的转矩。

现以变矩器工作轮的展开图来说明液力变矩器的工作原理。沿图 2-5 所示的工作轮循环圆中间流线将三个工作轮叶片假想地展开,得到泵轮、涡轮和导轮的环形平面图(图 2-6)。各叶轮叶片的形状和进出口角度也被显示于图中。

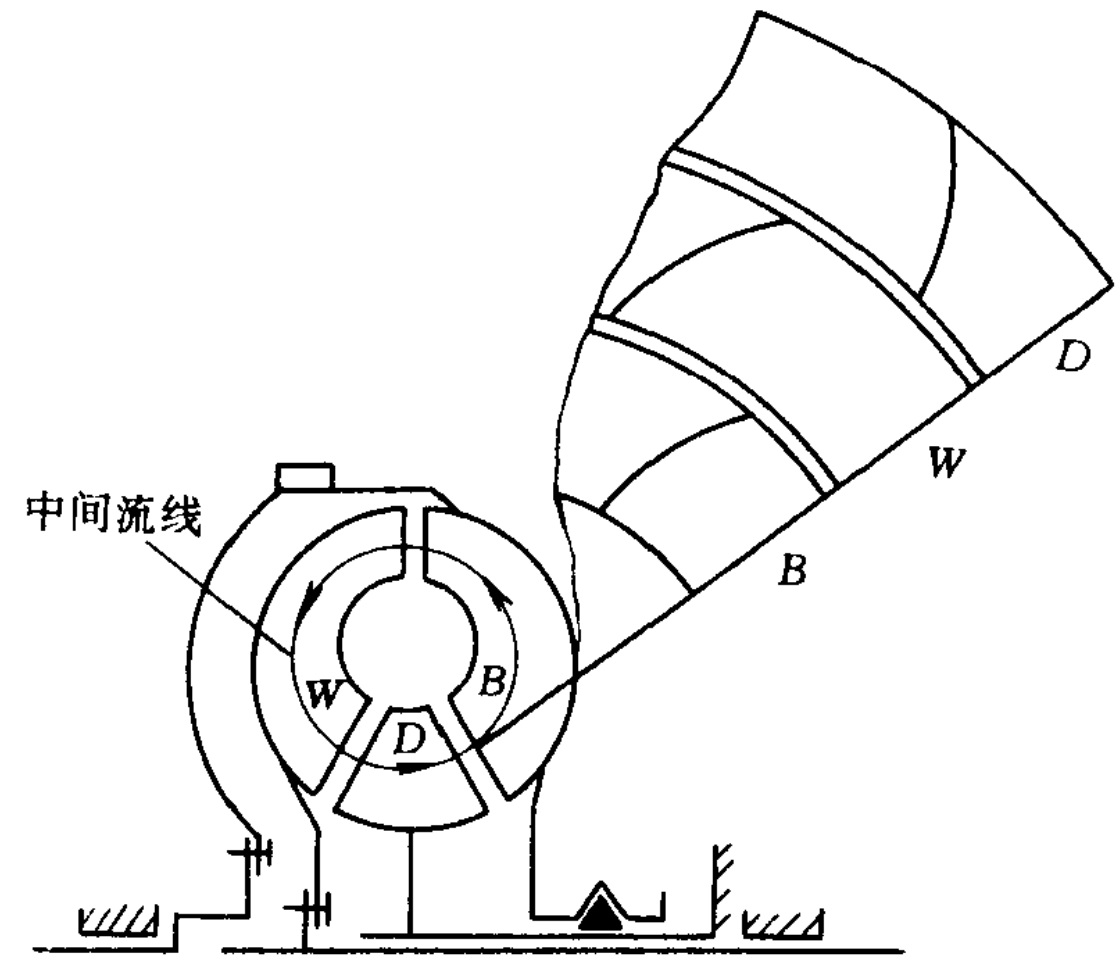


图 2-5 液力变矩器工作轮展开示意图

B—泵轮 W—涡轮 D—导轮

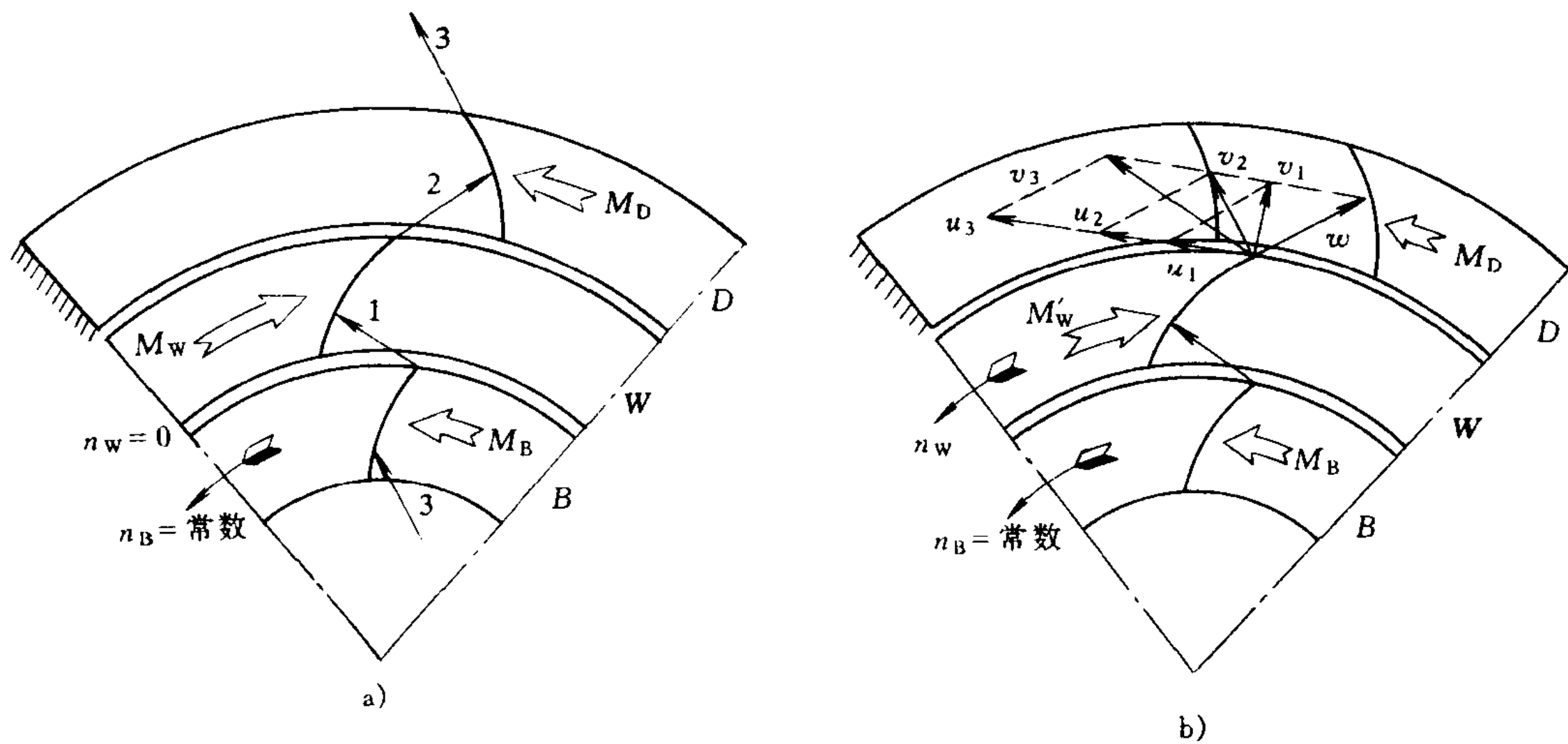


图 2-6 液力变矩器工作原理图

为便于说明起见,设发动机转速及负荷不变,即变矩器泵轮的转速 n_B 及转矩 M_B 为常数。先以汽车起步工况为例进行讨论。

当发动机运转而汽车还未起步时,涡轮转速 n_w 为零,如图 2-6a 所示。变速器油在泵轮叶片带动下,以一定的绝对速度沿图中箭头 1 的方向冲向涡轮叶片,对涡轮有一作用力,产生绕涡轮轴的转矩,此即液力变矩器的输出转矩。因此时涡轮静止不动,液流则沿着叶片流出涡轮并冲向导轮,其方向如图中箭头 2 所示,该液流也对导轮产生作用力矩。然后液流再从固定不动的导轮叶片沿箭头 3 的方向流回到泵轮中。当液流流过叶片时,对叶片作用有冲击

力矩, 根据作用力与反作用力定律, 液流此时也会受到叶片的反作用力矩, 其大小与作用力矩相等, 方向相反。作用力矩或反作用力矩的方向及大小与液流进出工作轮的方向有关。设泵轮、涡轮和导轮对液流的作用力矩分别为 M_B 、 M_W 和 M_D , 方向如图中箭头所示。根据液流受力平衡条件, 三者数值上满足关系式 $M_W = M_B + M_D$, 即涡轮转矩等于泵轮转矩与导轮转矩之和。显然, 此时涡轮转矩 M_W 大于泵轮转矩 M_B , 即液力变矩器起到了增大转矩的作用。也可以这样来理解其增矩作用, 当液流冲击进入涡轮时, 对涡轮有一作用力矩, 此为泵轮给液流的力矩; 当液流从涡轮流出冲击导轮时, 对导轮也有一作用力矩, 因导轮被固定在变速器壳体上, 从而导轮给液流的反作用力矩通过液流再次作用在涡轮上, 使得涡轮的转矩等于泵轮转矩与导轮转矩之和。

当液力变矩器输出的转矩, 经传动系传到驱动轮上所产生的牵引力足以克服汽车起步阻力时, 汽车即起步并开始加速, 与之相连的涡轮转速 n_W 也从零起逐渐增加。我们定义液流沿叶片方向流动的速度为相对速度 w , 在叶轮的作用下所具有的沿圆周方向运动的速度为牵连速度 u , 二者的矢量和为绝对速度 v 。涡轮转速 n_W 不为零时, 液流在涡轮出口处不仅具有相对速度 w , 而且具有牵连速度 u_1 , 故冲向导轮叶片的液流的绝对速度 v_1 为两者的合成速度, 如图 2-6b 所示。因设泵轮转速不变, 即液流循环流量基本不变, 故涡轮出口处的相对速度 w 不变, 变化的只是涡轮转速 n_W , 即牵连速度 u 发生变化。由图可见, 冲向导轮叶片的液流的绝对速度 v 将随牵连速度 u 的增加而逐渐向左倾斜, 使导轮上所受转矩值逐渐减小。

当涡轮转速增大到一定值时, 由涡轮流出的液流 (v_2) 正好沿导轮出口方向冲向导轮, 由于液体流经导轮时方向不改变, 故导轮转矩 M_D 为零, 即涡轮转矩与泵轮转矩相等, $M_W = M_B$ 。

若涡轮转速 n_W 继续增大, 液流绝对速度 v 方向继续向左倾, 如图 2-6b 中 v_3 所示方向, 液流冲击导轮叶片反面, 导轮转矩方向与泵轮转矩方向相反, 则涡轮转矩为前二者转矩之差 ($M_W = M_B - M_D$), 即变矩器输出转矩反而比输入转矩小。当涡轮转速 n_W 增大到与泵轮转速 n_B 相等时, 工作液在循环圆内的循环流动停止, 不能传递动力。

液力变矩器在泵轮转速 n_B 不变的条件下, 涡轮转矩 M_W 随其转速 n_W 变化的规律, 即为变矩器特性 (图 2-7)。

由特性图中可看出, 涡轮转矩是随涡轮转速的改变而连续变化的。当汽车起步、上坡或遇到较大阻力时, 如果发动机的转速和负荷不变, 则车速将下降, 即涡轮转速降低。于是涡轮转矩相应增大, 因而使驱动轮获得较大的力矩, 保证汽车能克服增大的阻力而继续行驶。所以液力变矩器本身就是一种能随汽车行驶阻力的不同而自动改变输出转矩的无级变速器。此外, 液力变矩器同样也具备使汽车平稳起步, 衰减传动系的扭转振动, 防止传动系超载等作用。由图中也可看出, 液力变矩器的效率曲线随涡轮转速变化呈两头小, 中间大的形态, 最高效率接近 90%。

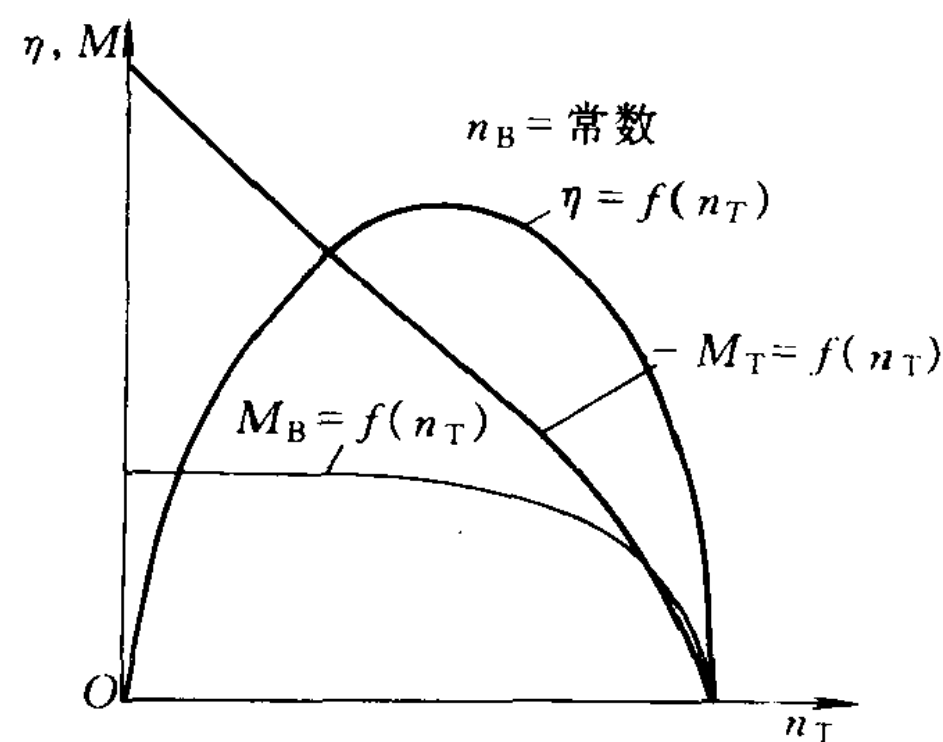


图 2-7 液力变矩器的外特性曲线

3. 三元件综合式液力变矩器

这是一种典型的轿车用液力变矩器。三元件是指其工作轮的数目为三个, 即泵轮、涡轮和导轮各一个 (图 2-8)。

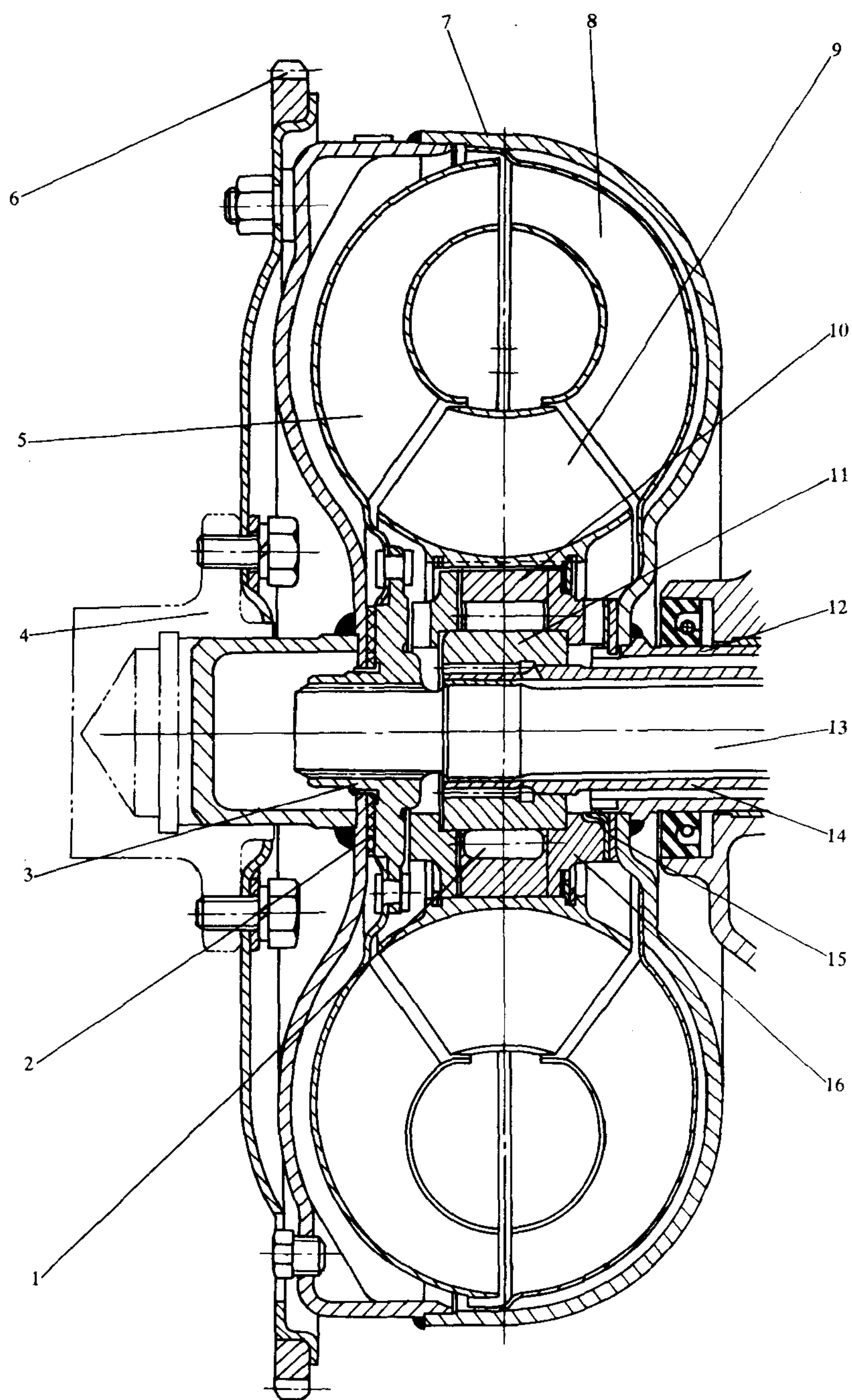


图 2-8 典型轿车用液力变矩器

- 1—滚柱 2—塑料垫片 3—涡轮轮毂 4—曲轴凸缘 5—涡轮 6—起动齿圈 7—变矩器壳 8—泵轮 9—导轮
 10—单向离合器外座圈 11—单向离合器内座圈 12—泵轮轮毂 13—变矩器输出轴（齿轮变速器第一轴）
 14—导轮固定套管 15—推力垫片 16—单向离合器盖