

田晋跃 主编

汽车液压、液力 与气动技术

附习题详解

QICHE

YEYA YELI YU QIDONG JISHU



化学工业出版社

田晋跃 主编

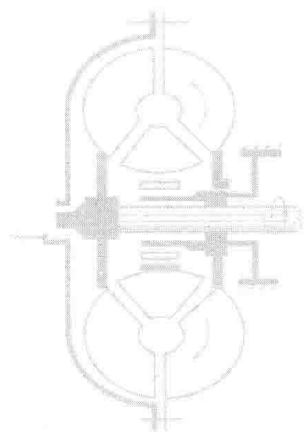
汽车液压、液力 与气动技术

附习题详解

QICHE

YEYA YELI YU

ISHU



化学工业出版社

·北京·

本书对目前汽车上出现的各种形式的液压、气压与液力传动的结构及工作原理作了介绍,并涉及汽车液压、气压与液力传动系统的设计方法。

本书主要内容包括流体传动基础;典型汽车液压、气压与液力传动元件;液压、气动传动基本回路和汽车液压、气压与液力传动系统设计方法。重点介绍了汽车液压、气压与液力传动元件的组成、工作原理、结构特点,并介绍了汽车液压、气压传动回路的工作原理和液力变矩器与发动机的匹配原则等。

本书内容深入浅出,图文并茂,结合实际,每章的最后有一定量的习题,便于对主要内容的理解和巩固,同时注意引导读者进行后续的深化学习。

本书可作为车辆工程等院校本科生和研究生专业教学参考书,也可供科研单位一线有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

汽车液压、液力与气动技术:附习题详解/田晋跃主编. —北京:化学工业出版社,2019.8

ISBN 978-7-122-34371-0

I. ①汽… II. ①田… III. ①汽车-液压传动②汽车-液力传动③汽车-气压传动 IV. ①U463.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2019)第078834号

责任编辑:黄 滢
责任校对:王 静

文字编辑:张燕文
装帧设计:刘丽华

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张13 $\frac{1}{2}$ 字数311千字 2019年8月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888

售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:49.00元

版权所有 违者必究

前言

本书是为满足我国高等院校车辆工程及相关专业方向的本科生及研究生专业学习以及从事汽车液压、气压与液力传动系统和传动元件设计等行业的人员使用需求而编写的。

汽车液压、气压与液力传动课程的目的是使学生掌握流体传动的基本工作原理、控制元件的结构及在流体传动回路中采用的基本知识,获得设计汽车液压、气压与液力传动系统、分析传动系统的初步能力,为专业课及从事专业技术工作打下坚实的理论基础。通过学习,要求学生能分析和初步设计汽车液压、气压与液力传动系统。

本书主要结合理论教学,从实际运用这一角度出发,加入了工程实例,结合作者多年来在汽车液压、气压与液力传动上的实践和教学上的经验与体会,帮助读者掌握和运用汽车液压、气压与液力传动的基本理论。

本书第1章主要介绍汽车液压、气压与液力传动的概念及特点、工作原理和系统组成。第2章主要介绍流体静力学、流体动力学基本原理以及流体传动的介质。第3章至第5章主要介绍流体传动基本元件的结构、工作原理以及元件的选用计算方法。第6章主要介绍液压传动辅助元件的结构、工作原理。第7章主要介绍压力控制回路、速度控制回路以及方向控制回路,便于读者熟练掌握液压基本回路,从而对解决复杂的汽车液压、气压传动系统问题有帮助。第8章主要介绍典型汽车液压、气压与液力传动系统的分析、设计和计算方法。第9章主要介绍液力变矩器的结构以及工作原理,并分析车辆系统发动机与液力传动装置的参数匹配方法。

本书为体现实践性和应用性,提供了形式多样的习题,以便读者巩固、运用流体元件的相关知识。本书紧密结合教学基本要求,内容完整系统、重点突出,所用资料力求能够更新、更准确地解读问题点。本书在注重汽车液压、气压与液力传动技术知识的同时,将实例内容与之结合在一起,强调知识的应用性,具有较强的针对性。

本书作者长期从事车辆工程传动的实用技术研究,书中内容新颖、实用。希望本书的出版能推动汽车液压、气压与液力传动技术的进步,并对广大读者有所帮助。

本书由田晋跃主编,韩江义、李臣旭参编。在本书写作过程中,参考了相关的国内外文献资料,在此,谨向文献的作者表示深深的谢意。

编者

目录

第 1 章 绪论	1
1.1 流体传动的概念及特点	1
1.2 流体传动的工作原理、系统组成及图形符号	6
习题	10
第 2 章 流体传动基础理论	11
2.1 流体力学基础	11
2.2 液体流动中的压力损失	20
2.3 液体流经小孔和缝隙的流量计算	26
2.4 气动元件的通流能力及气罐的充放气	29
2.5 液压冲击与空穴现象	32
2.6 流体传动介质	36
习题	42
第 3 章 液压、气压传动基本元件——泵和马达	45
3.1 泵（空气压缩机）与马达的基本特性	45
3.2 齿轮泵	48
3.3 叶片泵	52
3.4 柱塞泵	57
3.5 液压马达	59
习题	64
第 4 章 液压、气压传动基本元件——阀	67
4.1 控制阀的基本特性	67
4.2 压力控制阀	68

4.3	方向控制阀	78
4.4	流量控制阀	85
4.5	多路换向阀	89
4.6	比例阀	91
	习题	94
第 5 章	液压、气压传动基本元件——缸	97
5.1	常用动力缸	97
5.2	动力缸的结构组成	100
	习题	105
第 6 章	辅助元件	107
6.1	液压系统的主要辅助元件	107
6.2	气动系统的主要辅助元件	111
6.3	储能元件与管件和密封	114
	习题	119
第 7 章	液压、气压传动基本回路	120
7.1	压力控制回路	121
7.2	速度控制回路	125
7.3	方向控制回路	137
7.4	气动基本回路	139
	习题	141
第 8 章	汽车液压、气动系统及设计	145
8.1	典型汽车液压、气动系统	145
8.2	汽车液压系统设计	158
	习题	164
第 9 章	液力传动结构及原理	168
9.1	液力偶合器	168
9.2	液力变矩器结构与工作原理	170
9.3	液力变矩器的补偿及冷却系统	178
9.4	液力变矩器的特性	179

9.5 液力变矩器与整车的匹配.....	182
9.6 液力变矩器性能参数设计方法简介.....	188
习题	191
习题详解.....	193
参考文献.....	210

1.1 流体传动的概念及特点

“流体传动”这一学科名称，直到最近十几年才被诠释为“液压、液力与气动”。目前液压工业界也已普遍认同了“流体传动”的这一内涵。在流体传动中保留了“液压”一词，以区别于“机械式”或“电气式”传动。

流体的“液压”部分，适用的是液体流体力学的传动规律，压力或能源，或简单的信号，都通过液体压力的形式来传递，对应于液压静力学（静止液体的力学）和液压力学（流动液体的力学）的基本定律。

同样，流体的“气动”部分，适用的是气体流体力学的传动规律，压力或能源，或简单的信号，也对应于静止气体的力学和流动气体的力学的基本定律。

汽车如同一台机器，一台完整的机器由原动机、传动机构和控制系统、工作机（含辅助装置）组成。原动机包括电动机、内燃机等。工作机即完成该机器工作任务的直接工作部分。由于原动机的功率和转速变化范围有限，为了适应工作机的工作力和工作速度变化范围及性能的要求，在原动机和工作机之间设置了传动机构，其作用是把原动机输出的功率经过变换后传递给工作机。一切机械都有其相应的传动机构和控制系统，借助于它达到对动力传递和控制的目的。

传动机构是车辆重要的组成部分。如图 1-1 所示，以角标“D”来标记原动机的机械功率 N_D 、力 F_D 、速度 v_D 、力矩 M_D 和角速度 ω_D ，故有 $N_D = F_D v_D$ 或 $N_D = M_D \omega_D$ 。工作机是车辆实现工作目的的环节，它总是接受从原动机传输过来的机械能，克服车辆工作阻力，来驱动工作对象运动。工作机对负载施加的驱动力因素为 F_Z 或 M_Z ；运动因素是工作机和负载的共同状态，为 v_Z 或 ω_Z 。这里“Z”是标记工作机的物理量的角标。

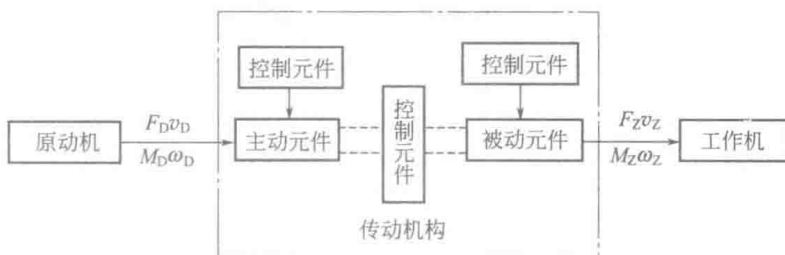


图 1-1 流体的功率传递示意

传动机构通常分为机械传动机构、电力传动机构和流体传动机构。功率传递的类型及其特点见表 1-1。

表 1-1 功率传递的类型及其特点

项目	液压与液力传动	气动	电力传动	机械传动
能量来源 (驱动)	电机 内燃机 液压蓄能器	电机 内燃机 空气压缩机	电力 电池	电机 内燃机 重力、弹性力(弹簧)
功率 传递元件	金属管道、软管 叶轮、泵、阀	金属管道、软管	电缆 电磁场	机械零部件、 杠杆、传动轴等
功率 传递介质	液体	气体	电气元件	刚性、弹性体
力密度 (功率密度)	力密度大、压力高、 出力大、尺寸小	力密度较小、 压力较低	力密度小,电机功率 质量比只有液压 马达的 10%	力密度大,选型和布 置成所需尺寸的 易操作性不如液压
无级可控性 (加速、减速制动)	非常好(通过压力和 流量,或动量矩)	好(通过压力和流量)	非常好,开环、闭环控制	好
输出动力类型	可通过液压缸、液压 马达或涡轮,方便实 现直线或旋转运动	可通过气缸或气马达, 方便实现直线或 旋转运动	通过电磁铁、直线电动 机完成直线运动、 旋转运动	直线和旋转运动

流体是液体和气体的总称,流体传动就相应地有液体传动和气体传动之分。流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动。它包括液压传动、液力传动和气压传动。液体传动又分成液压传动和液力传动两种。

流体传动的机构总有一个主动元件,接受原动机的机械功率 $F_D v_D$ 或 $M_D \omega_D$,然后把它转换成某种能量;而另外总有一个被动元件,把这种介质的能量转换成工作机所需的机械能 F_Z 或 M_Z 。有时其原动机力和运动性能与工作机需要之间的矛盾,不是只具有主动元件和被动元件的简单传动机构就可以协调的,还需要在传动机构内部对主动元件和被动元件施加“控制”,即用一种控制元件加以协调,所以传动机构还有“控制”功能。

流体传动机构的组成如图 1-2 所示。

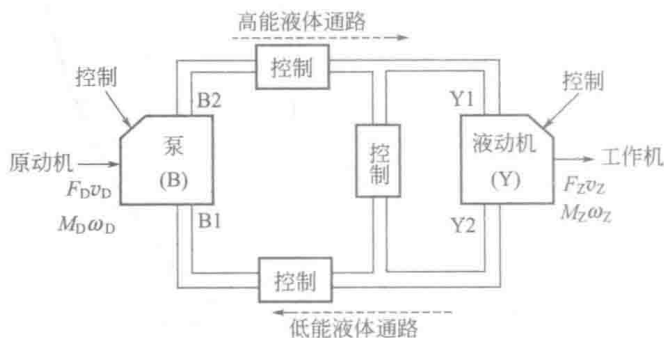


图 1-2 流体传动机构的组成

有一种元件称为“泵”,它可以作主动元件,其原理是将原动机的机械功率用来提高流体介质的能量。

在流体传动中，忽略泵上的机械摩擦，可将原动机力矩和力的角标 D 改为 By，即“泵 (B) 对液体 (y) 作用”的意思，这样就将原动机的作用，转化为泵对液体的作用，即 $M_D = M_{By}$, $F_D = F_{By}$ 。将原动机角速度和速度的角标 D 改为 B，即“泵”的运动参数。因此 $\omega_D = \omega_B$, $v_D = v_B$ 。相应地，原动机功率 $N_D = N_{By}$ 。在定量计算时， $M_D > M_B$, $F_D > F_{By}$, $N_D > N_{By}$ 。但运动参数 $\omega_D = \omega_B$, $v_D = v_B$ ，今后一般只出现 ω_B 和 v_D 的符号。

液压、气压传动与液力传动的区别在于，液压、气压系统利用液压、气压泵将原动机的机械能转换为流体的压力能，通过流体压力能的变化来传递能量，经过各种控制阀和管路的传递，借助于液压、气压传动的执行元件（液压、气压缸或马达）把流体压力能转换为机械能，从而驱动工作机构，实现直线往复运动或回转运动，即

$$\left. \begin{aligned} F_D v_D \\ M_D \omega_D \end{aligned} \right\} = Q_B (p_{B2} - p_{B1}) \quad \left. \begin{aligned} F_Z v_Y \\ M_Z \omega_Y \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

式中 Q_B ——泵的体积流量；

p_{B1}, p_{B2} ——过流断面 B1 和过流断面 B2 上的压力；

Q_Y ——通过液动机的流量；

p_{Y1}, p_{Y2} ——过流断面 Y1 和过流断面 Y2 上的压力；

角标 B1, B2——标明流体在原动机的进口处和出口处的各种物理量；

角标 Y1, Y2——标明流体在液动机的进口处和出口处的各种物理量。

液力传动是以液体为工作介质，既利用压力能变化，又利用其动量矩的变化进行能量传递的，即

$$\left. \begin{aligned} M_{By} \omega_B = Q(p_{B2} - p_{B1}) + \rho Q_B \frac{v_{B2}^2 - v_{B1}^2}{2} \\ Q_Y (p_{Y1} - p_{Y2}) + \rho Q_Y \frac{v_{Y1}^2 - v_{Y2}^2}{2} = M_Y \omega_Y \end{aligned} \right\} \quad (1-2)$$

式中 ρ ——传动液体介质的密度。

正因为有以上能量变换原理上的差别，液压、气压传动中的泵和液动机（分液压、气压马达和液压、气压缸两类）与液力传动中的泵（泵轮）和液动机（涡轮），在原理和结构上有着根本的区别，理解、分析、研究和设计的基础理论和应用学科知识也大相径庭，甚至它们的具体应用的覆盖面也只有很少部分相同。一般来讲，液压、气压传动的应用范围要比液力传动广泛得多。

大体上可以对液压、气压传动与液力传动的功能作如下的分析比较。

液力传动比液压、气压传动的能容（传动装置单位重量所传递的机械能）大得多，所以在传递同样大功率时，液力传动轻得多，体积也小得多。目前，液力传动传递的最大功率至几千千瓦，而液压、气压传动一般只能达到 200~300kW。

液力传动内部没有摩擦副，所以寿命比液压、气压传动长。液力传动内部压力不高，密封条件要求低，而且对液体介质清洁度和黏温特性要求都远低于液压传动，因此在运行、维护和制造成本等方面显示出优越性。液压、气压传动及液力传动的分析对比见表 1-2。

表 1-2 液压、气压传动及液力传动的分析对比

液 压 传 动	①同等功率情况下,液压装置容量大,体积小,重量轻。例如,输出同样功率,液压马达重量是电动机重量的10%~20%,而且还能传递较大的力或转矩
	②易于实现大传动比[(100:1)~(2000:1)]传动,调速范围较大,能方便地在运行中实现无级调速,低速性能好
	③易于实现回转、往复直线运动,结构简化,系统便于布置
	④系统的控制、调节比较简单,与电气控制配合使用能实现复杂的顺序动作和远程控制,易于实现自动化
	⑤操作简单、省力,工作比较平稳、反应快、冲击小,易于频繁、快速换向和启动。液压传动装置的换向频率高,回转运动可达500次/min,往复直线运动可达400~1000次/min
	⑥工作安全可靠,系统超载时,油液可以经安全阀(溢流阀)回油箱,易于实现过载保护
	⑦液压传动以油液为工作介质,元件可自行润滑,保养方便;功率损失产生的热量由流动着的油液带走,避免局部温升,所以液压元件寿命较长;同时可避免机械自身产生过度温升
气 压 传 动	①气压传动系统工作介质是空气,来源方便,无成本;使用后直接排入大气而无污染,不需要设置专门的处理设备
	②空气黏度小,在管路中流动时压力损失小,效率高,可以集中供气及远距离输送
	③气动元件动作迅速、反应快、维护简单、调节方便,系统故障容易排除
	④工作环境适应性好,气压传动特别适合在易燃、易爆、潮湿、多尘、强磁、振动及辐射等恶劣条件下工作,在食品、医药、轻工、纺织、精密检测等行业中应用更具优势
	⑤系统成本低,具有过载保护功能
液 力 传 动	①液力传动过载保护性好,具有良好的自动适应性能。外载荷增大时,液力传动系统可以使机器自动增大牵引力,速度降低;外载荷减小时,机器又能自动减小牵引力,提高速度。这样,既保证了发动机能经常在额定工况下工作,避免发动机因外载荷突然增大而熄火,又能满足车辆牵引工况和运输速度的要求
	②液力传动可以提高机械使用寿命。液体作为工作轮间的工作介质,传动系统零件没有直接接触,减少了刚性冲击,能吸收并减少来自发动机和外载荷的振动、冲击,提高机械使用寿命。甚至在输出轴卡住时,动力机仍能运转而不受损伤,带载荷启动容易。以重型载重汽车为例,使用液力传动后,发动机寿命可增加47%,变速器寿命增加400%;液力传动在经常处于恶劣环境工作、载荷变化剧烈的工程机械上应用,效果更为显著
	③能提高车辆舒适性。采用液力传动使车辆起步平稳,并在较大的速度范围内无级变速,吸收振动、冲击,提高了车辆舒适性
	④简化车辆的操纵。液力变矩器本身就是无级自动变速器,扩大了发动机动力范围,因此可以减小变速器的挡数。使换挡操纵简便,大大降低了驾驶员的劳动强度

但是,液力传动的最高效率和高效率工作范围内的平均效率不及液压、气压传动,而且液压、气压传动有很强的变换功能和控制功能,这是液力传动无法比拟的。正因为如此,在大多数场合,液力传动无法取代液压、气压传动,例如,在工程车辆上,有许多作业机构,它们对传动的要求相差悬殊,只能采用液压传动,往往只有行走机构是用液力传动的。

液压、气压传动是根据17世纪帕斯卡提出的液体静压力传动原理而发展起来的一门技术,是工农业生产中广为应用的一门技术。液压传动系统适用于大功率、高精度控制的场合,其应用范围从机器人、宇航飞行器等精密控制系统到锻压轧钢设备、车辆、工程机械和机床等工业领域,其位置精度可达0.1mm。图1-3所示为汽车CVT(无级变速器)液压控制系统的应用,图1-4所示为汽车制动气压控制系统的应用。

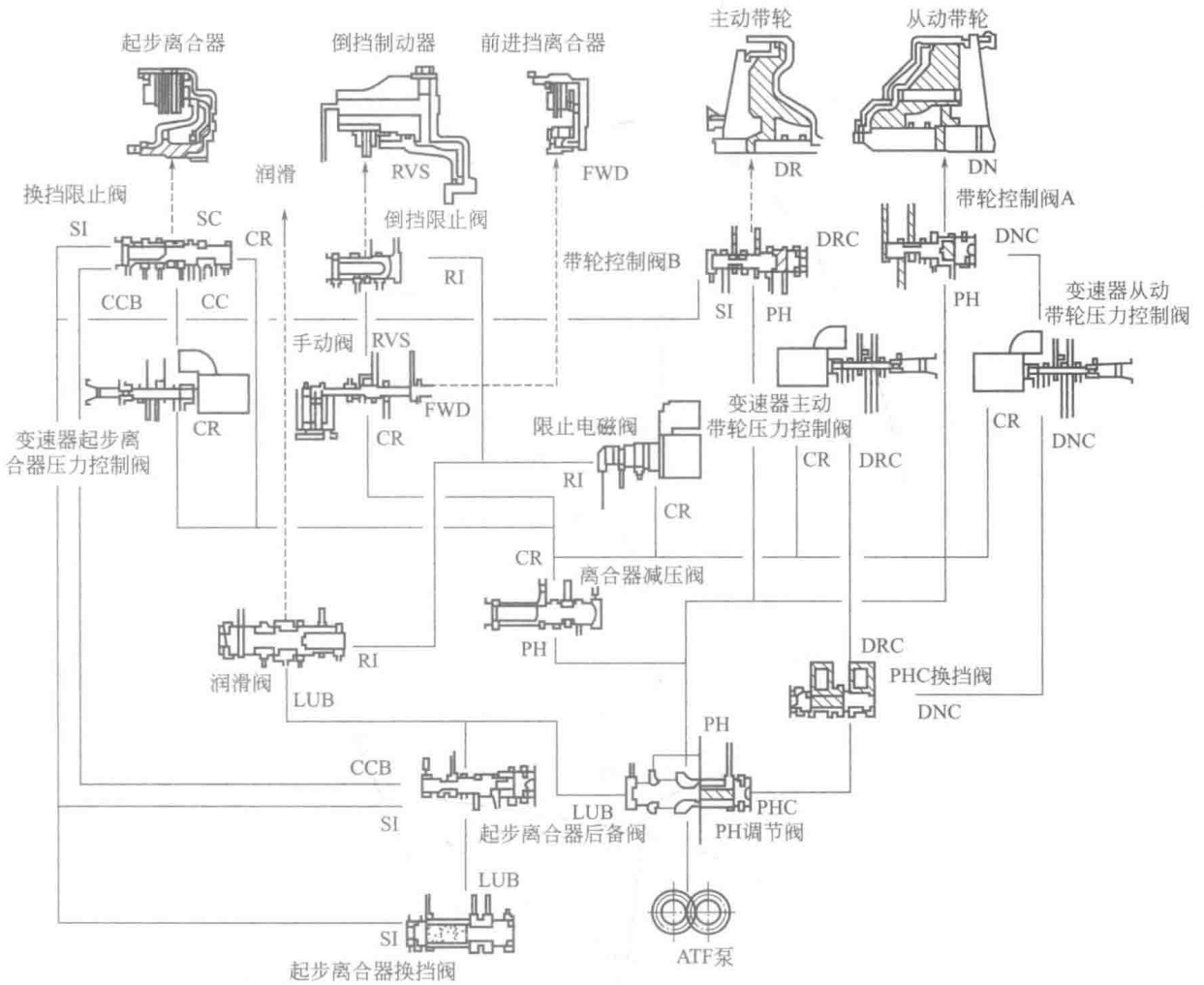
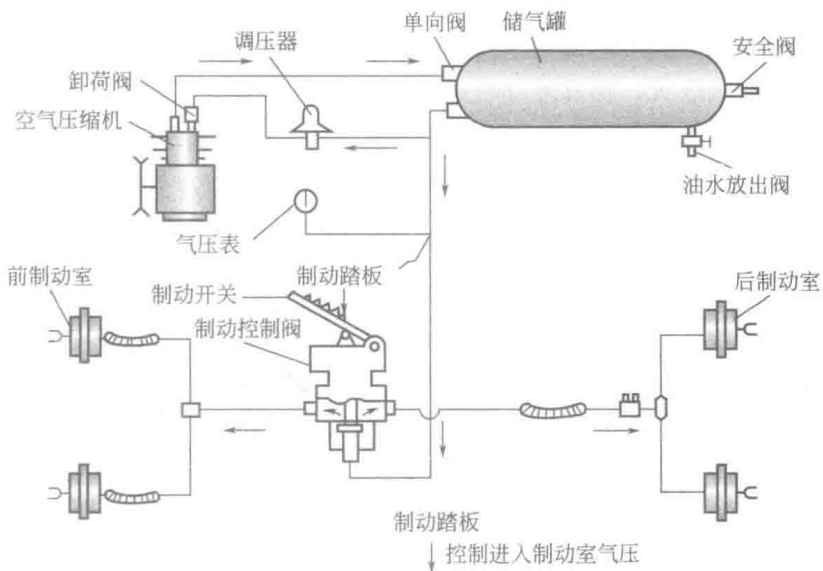


图 1-3 汽车 CVT (无级变速器) 液压控制系统示意



空气压缩机 → 储气罐 → 制动控制阀 → 制动室 → 推制动片

图 1-4 汽车气压制动控制系统示意

液力传动于 20 世纪初问世,最初用于船舶,后来人们认识到液力传动的优点,在车辆上开始应用。最初研制的液力传动车辆是第一次世界大战之后,到 20 世纪 30 年代,英国、美国将液力传动应用于公共汽车,第二次世界大战期间,许多军用车辆和专用汽车也开始采用液力传动,目前,液力传动已广泛应用于各种类型的汽车,如小轿车、小型客车、公共汽车、军用车辆、重型矿山车辆和工程车辆等。

液力传动装置有液力偶合器和液力变矩器两种,液力偶合器只能传递力矩,而不能改变力矩的大小,在车辆传动中应用比较少,液力变矩器则除了具有液力偶合器的全部功能外,还能实现无级变速,但是,液力变矩器的输出力矩与输入力矩的比值变化范围还不足以满足使用需求,通常需与机械变速器组合成液力机械传动装置应用于汽车传动。

图 1-5 所示为液力机械传动的一种形式,液力机械传动是液力传动和机械传动的组合。

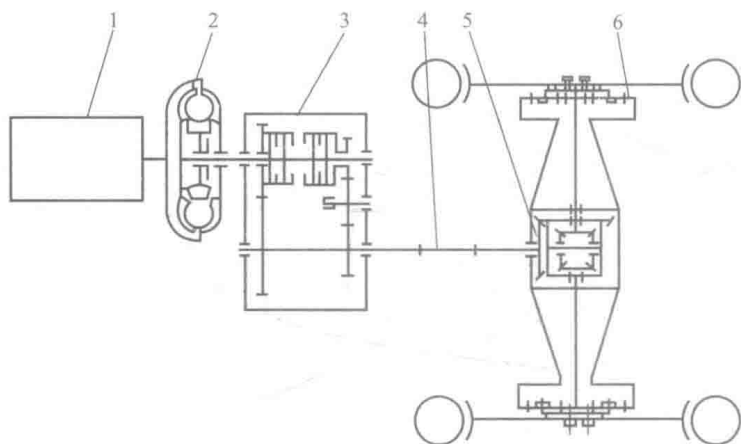


图 1-5 液力机械式传动系统示意

1—发动机; 2—液力变矩器; 3—机械变速器; 4—万向传动轴; 5—驱动桥; 6—轮辋

液力机械传动的主要优点:能在一定范围内根据行驶阻力的变化,自动进行无级变速,因此能防止发动机过载熄火,提高发动机的能量利用率,而且大大减少了换挡频率;液力变矩器利用液体作为传递动力的介质,输出轴和输入轴之间没有刚性的机械连接,大大降低了发动机及传动系统零件的冲击负载,提高了机件的使用寿命;液力变矩器具有一定的变速能力,因此对于相同的变速范围,可以减少变速器的挡位数,简化变速器结构;液力变矩器具有自动无级变速的能力,因而起步平稳,并可得到较低的行驶速度,增加了车辆行驶能力;液力变矩器采用液体介质传递动力;液力变矩器冷却系统中的油泵、滤油器、冷却器等液压组件除完成液体介质的冷却,同时用于换挡机械变速器液压操纵系统信号传递。

1.2 流体传动的工作原理、系统组成及图形符号

1.2.1 液压传动的工作原理及系统组成

以液压千斤顶为例,其工作原理如图 1-6 所示。扳动手柄小活塞 1 上下移动,当小活

塞向上移动时，活塞下腔容积增大，形成真空，在大气压力作用下油液经管道、单向阀 4 进入油缸下腔；当压下手柄时，小活塞下移，密封腔内的油液受到挤压，则下腔的油液经管道、单向阀 3 输入大油缸 7 的下腔（因受油压的作用，单向阀 4 关闭，与油箱的油液隔断）迫使大活塞 8 向上移动。反复扳动、压下动手柄，油液就不断地输入大油缸的下腔，推动大活塞缓慢上升，顶起重物。如果将图 1-6 简化为图 1-7 的密闭连通器，可以清楚地分析其动力传递过程。

$$\text{大活塞 5 上的压力} = \frac{W}{F_2}$$

$$\text{小活塞 1 上的压力} = \frac{P}{F_1}$$

式中 F_2 ——大活塞的面积；
 F_1 ——小活塞的面积。

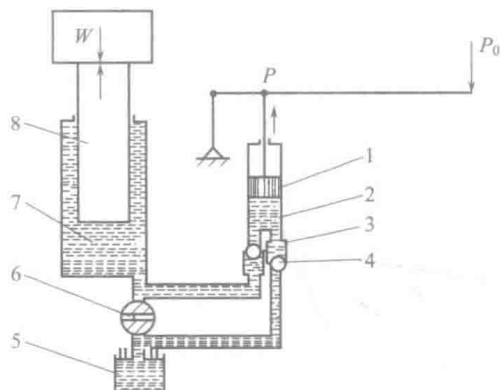


图 1-6 液压千斤顶工作原理

1—小活塞；2—小油缸；3、4—单向阀；
 5—油箱；6—放油阀；7—大油缸；8—大活塞

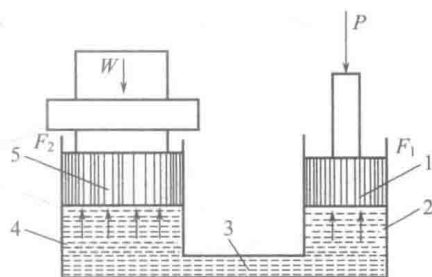


图 1-7 密闭连通器

1—小活塞；2—小油缸；3—管路；
 4—大油缸；5—大活塞

根据密闭容器中压力处处相等的原则，有

$$\frac{W}{F_2} = \frac{P}{F_1} = p$$

这样，大活塞上很大的负载可用较小的力平衡，即

$$W = \frac{F_2}{F_1} P \tag{1-3}$$

由此可知，在液压传动中，力不但可以传递，而且通过作用面积 ($F_2 > F_1$) 的不同，力可以放大。千斤顶之所以能够用较小的力，顶起较重的负载，原因就在这里。

由上述可知，液压传动实际上是一种能量转换装置，它是靠油液通过密闭容积的变化传递运动，依靠油液内部的压力传递动力。

液压传动的两个工作特性：液压系统的压力大小（在有效承压面积一定的前提下）决定于外界负载；执行元件的速度（在有效承压面积一定的前提下）决定于系统的流量。这两个特性有时也简称为压力决定于负载、速度决定于流量。

液压传动系统功率传递流程如图 1-8 所示。

显示器、传感器等。

汽车气压制动传动技术原理如图 1-9 所示。

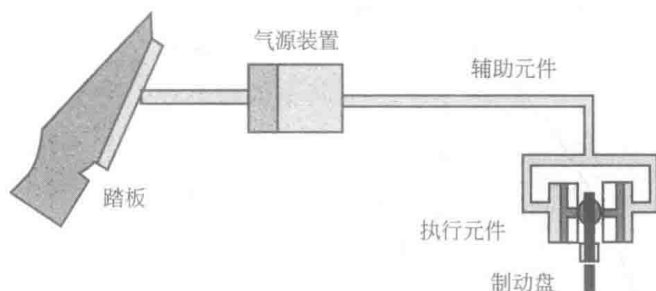


图 1-9 汽车气压制动传动技术原理

1.2.3 液力传动的工作原理及系统组成

常见的液力传动装置主要由泵轮、涡轮等原件组成。在液力传动中泵轮和涡轮叶片内循环流动的工作油，从泵轮叶片内缘流向外缘的过程中，泵轮对其做功，其速度和动能逐渐增大，而在从涡轮叶片外缘流向内缘的过程中，工作油对涡轮做功，其速度和动能逐渐减小。

液力传动的工作原理可以用水泵带动水轮机转动、一个风扇通过气流带动另一个风扇转动的原理加以理解。如图 1-10 所示，输入轴输入的动能通过泵轮传给工作油，工作油在循环流动的过程中又将动能传给涡轮输出，由于在液力偶合器内只有泵轮和涡轮两个工作轮，工作油在循环流动的过程中，除了与泵轮和涡轮之间的作用力外，没有受到其他任何附加的外力，根据作用力与反作用力相等的原理，工作油作用在涡轮上的力矩应等于泵轮作用在工作油上的力矩，即输入轴传给泵轮的力矩与涡轮上输出的力矩相等。

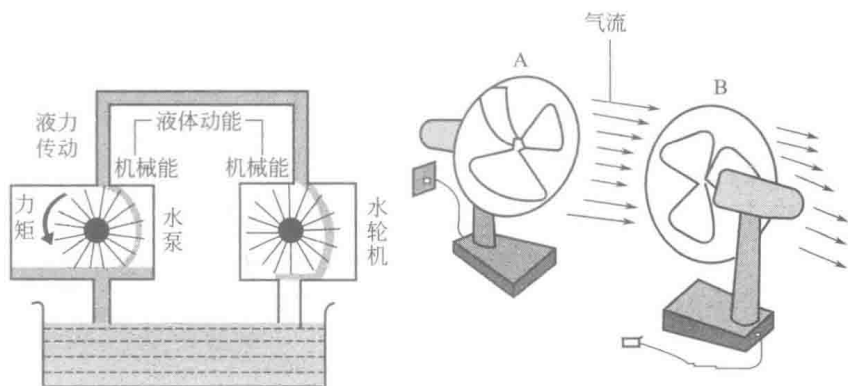


图 1-10 液力传动工作原理

液力变矩器的构造与液力偶合器基本相似，主要区别是在泵轮和涡轮之间加装了一个固定的工作油导向工作轮——导轮，并与泵轮和涡轮保持一定的轴向间隙，通过导轮座固定于变矩器壳体，为了使工作油有良好循环以确保液力变矩器的性能，各工作轮都采用了弯曲成一定形状的叶片。图 1-11 所示为液力变矩器的结构简图，其主要由可旋转的泵轮和涡轮，以及固定不动的导轮三个组件组成。各工作轮用铝合金精密制造，或用钢板冲压

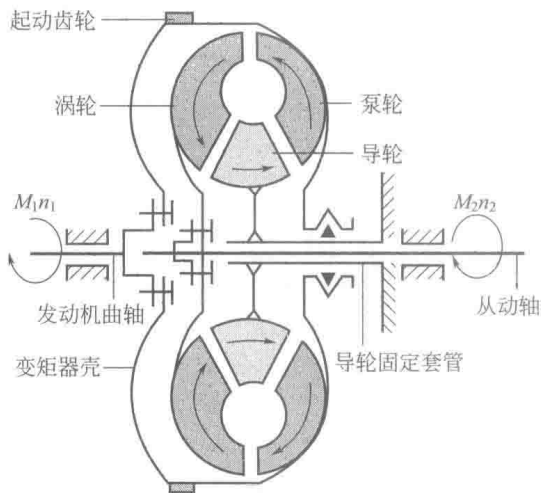


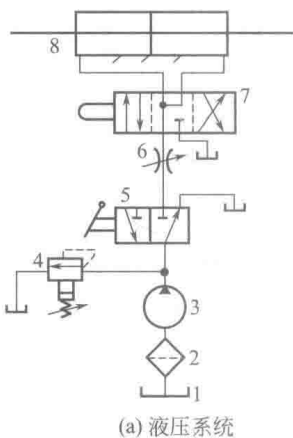
图 1-11 液力变矩器结构简图

焊接而成，泵轮与液力变矩器壳连成一体，用螺栓固定在发动机曲轴后端的凸缘或飞轮上，壳体做成两半，装配后焊成一体（有的用螺栓连接），涡轮通过从动轴与变速器的其他部件相连，导轮则通过导轮座与变速器的壳体相连，所有工作轮在装配后，形成断面为循环圆的环状体。

1.2.4 流体传动的图形符号

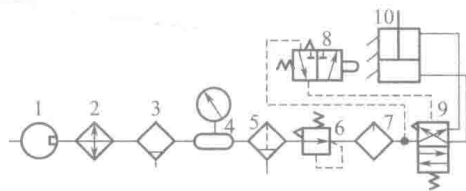
液压、气压系统图的图形符号如图 1-3 和图 1-4 所示的。有些液压、气压系统图是一种用半结构式表示的工作原理图，这种图直观性强，容易理解，但绘制起来比较麻烦。

图 1-12 所示为用标准图形符号绘制成的工作原理图。这些图形符号符合 GB 786.1。在 GB 786.1 中，用粗实线表示主流路，虚线表示控制流路和泄漏流路。使用这些图形符号可使系统图简单明了，便于绘制。在汽车行业中有些专用的元件无法用标准图形表达时，仍可使用半结构式。



(a) 液压系统

- 1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；
- 5, 7—换向阀；6—节流阀；8—液压缸



(b) 气压系统

- 1—空气压缩机；2—冷却器；3—油水分离器；4—储气罐；
- 5—分水滤气器；6—减压阀；7—油雾器；8—行程阀；
- 9—换向阀；10—气缸

图 1-12 液压、气压系统图形符号

习 题

- 1-1 液压、气压传动的工作原理是什么？液力传动的工作原理是什么？
- 1-2 液压传动的两个工作特性是什么？
- 1-3 液压系统由几个基本装置组成？
- 1-4 气压系统由几个基本装置组成？
- 1-5 液力变矩器由几个主要元件组成？