

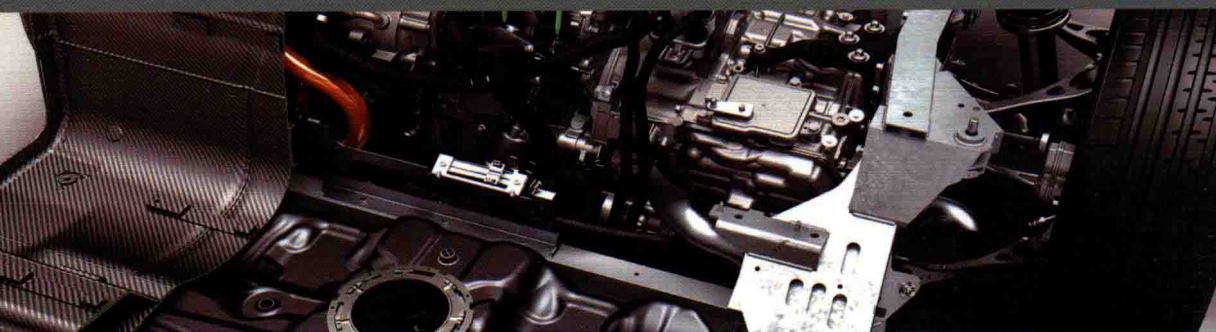
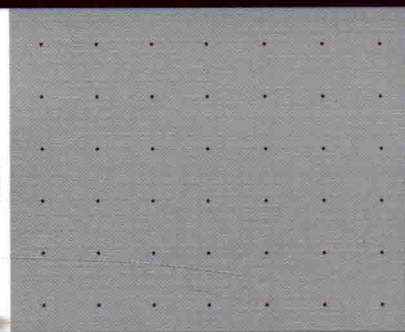
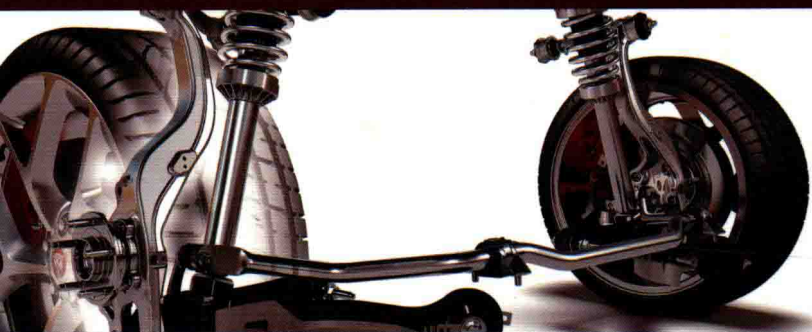
车辆液压

CHELIANG YEYA YU
YELI CHUANDONG

与

液力传动

田晋跃 主编



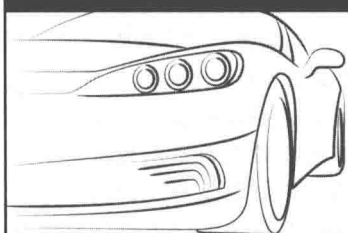
化学工业出版社

车辆液压

CHELIANG YEYA YU
YELI CHUANDONG

与

液力传动



田晋跃 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书对目前自行式车辆上出现的各种形式的液压与液力传动元件的结构及工作原理作了介绍,并涉及液压与液力传动系统的设计方法和选用注意事项。

本书主要内容包括流体传动基础、典型液压与液力元件、液压传动基本回路和车辆传动系统设计方法,重点介绍了液压与液力元件的组成、工作原理、结构特点,分析了简单传动回路的工作原理和车辆液压液力系统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,并注意引导读者进行学习的深化。

本书可作为车辆工程等相关专业本科生和研究生专业教学参考书,也可供科研单位、工厂及有关工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

车辆液压与液力传动/田晋跃主编. —北京:化学工业出版社, 2016.6

ISBN 978-7-122-26608-8

I. ①车… II. ①田… III. ①汽车-液压传动系统
IV. ①U463.22

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第060998号

责任编辑:黄 滢

文字编辑:陈 喆

责任校对:宋 夏

装帧设计:王晓宇

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:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张12½ 字数334千字 2016年7月北京第1版第1次印刷

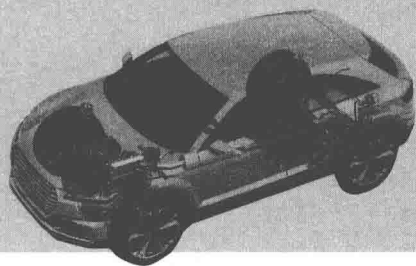
购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

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:58.00元

版权所有 违者必究



前言

FOREWORD

“流体传动”这一学科名称，直到最近十几年才被诠释为“液压、液力与气动传动”。目前液压工业界也已普遍认同了“流体传动”的这一内涵。实际上，“流体传动”这门学科研究的是能量传递。流体的“液压（或液力）”传动，适用的是流体力学的传动规律，压力（或动量矩）通过流体的形式来传递，满足液压静力学（静止流体的力学）和液压动力学（流动流体的力学）的基本定律。

本书是为满足我国高等院校车辆工程、工程机械等相关专业方向的本科生及研究生专业学习以及从事车辆液压及液力传动系统和传动元件设计等行业的人员编写的。

车辆液压及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作用的基本知识，获得设计车辆液压及液力传动系统、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达到分析液压及液力传动系统和初步设计液压及液力传动系统的能力。

本书力求不同于诸多同类型书籍，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，结合笔者多年来在液压与液力传动方面实践和教学的经验和体会，帮助读者掌握和运用液压与液力传动的基本理论和方法。

本书共分 12 章，第 1 章主要介绍液压与液力传动技术在车辆领域的应用及发展状况，以及液压与液力传动的工作原理和系统的组成；第 2 章介绍流体静力学、流体动力学基本原理以及流体传动的介质；第 3~6 章讲述了主要液压元件的结构、工作原理以及元件的设计方法；第 7 章主要讲述了压力控制回路、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，从而对解决复杂的车辆液压系统问题有帮助；第 8 章主要介绍典型车辆液压传动系统的分析、设计和计算方法；第 9 章主要讲述车辆系统发动机与液压传动装置的参数匹配、控制方式以及车辆的动力性能；第 10 章介绍液压系统的建模思路及方法；第 11 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；第 12 章介绍液力变矩器的主要结构参数以及设计方法。

本书的编写特点如下。

① 书中提供多个案例供读者分析、研读，便于读者巩固、运用液压元件的相关知识。

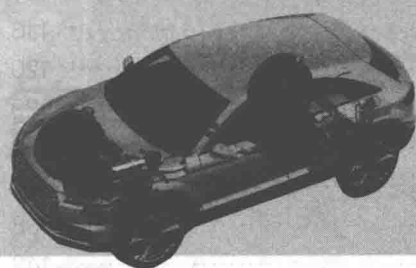
② 内容完整系统、重点突出，所用资料力求更新、更准确地解读问题点。该书在注重车辆液压传动及控制技术知识的同时将实例内容与之结合在一起，强调知识的应用性，具有较强的针对性。

笔者近年来一直从事车辆工程传动的实用技术的研究，书中部分内容是国内已有出版物中所未涉及的。希望本书的出版能推动车辆液压传动技术的进步，并对广大读者有所帮助。

本书由田晋跃主编，韩江义和张学荣参编。

书中提出的观点、方法有的是笔者个人的看法，不足之处在所难免，希望读者给予谅解和宽容，敬请批评指正。

编者



目录

CONTENTS

第1章 绪论	1
1.1 液压传动的工作原理	6
1.2 液力传动的工作原理	8
第2章 车辆液压与液力传动基础	9
2.1 流体力学基础	9
2.2 液体流动中的压力损失	17
2.3 液体流经小孔和缝隙的流量计算	22
2.4 液压冲击与空穴现象	25
2.5 液压传动介质	28
第3章 液压泵及马达	33
3.1 概述	33
3.2 液压泵的主要性能参数	34
3.3 齿轮液压泵	35
3.4 叶片液压泵	40
3.5 柱塞液压泵	49
3.6 液压马达	51
第4章 液压阀	57
4.1 概述	57
4.2 压力控制阀	58
4.3 方向控制阀	66
4.4 流量控制阀	74
4.5 比例阀和逻辑阀	78
第5章 液压缸	81
5.1 液压缸的基本类型	81
5.2 液压缸的构造	84
5.3 液压缸的设计计算	89
第6章 辅助元件	93
6.1 蓄能器	93
6.2 滤油器	96
6.3 油箱	98
6.4 管道元件及密封	99
第7章 液压基本回路	101

7.1	压力控制回路	102
7.2	速度控制回路	106
7.3	方向控制回路	118
第8章	车辆液压作业系统和系统设计	120
8.1	典型车辆液压作业系统	120
8.2	车辆液压系统设计	128
第9章	车辆液压行走驱动系统	138
9.1	液压行走驱动系统的设计	138
9.2	液压驱动车辆的动力特性	143
第10章	液压系统建模简介	151
10.1	液压马达动态建模	152
10.2	液压阀动态建模	153
10.3	液压系统动态建模	155
第11章	液力变矩器	160
11.1	液力耦合器	160
11.2	液力变矩器结构与工作原理	162
11.3	液力变矩器的补偿冷却系统	168
11.4	液力变矩器的特性	169
11.5	液力变矩器与整车的匹配	172
第12章	液力变矩器性能参数设计	179
12.1	液力变矩器性能参数设计方法	179
12.2	循环圆设计	182
12.3	叶片设计	185
12.4	液力变矩器的优化设计	188
12.5	液力变矩器流场的理论方法简介	190
参考文献		194

第 1 章

绪 论



行走机械如同一台机器，一台完整的机器由原动机、传动机构及控制、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，为了适应工作机变化范围较大的工作力和工作速度以及性能的要求，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，借助它们达到对动力的传递和控制。

传动是车辆系统的一个组成部分，如图 1.1 所示。图中以角标“D”来标志原动机的机械功率 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 $N_D = M_D \omega_D$ 。图中的工作机是车辆实现工作目的环节，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（负载力），来驱动工作对象（负载）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”是标志工作机的物理量的角标。

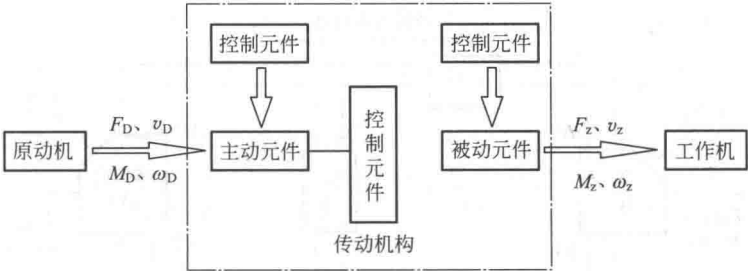


图 1.1 车辆的功率传递示意图

传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动机构。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)	电动机 内燃机 液压蓄能器	电动机 内燃机 空气压缩机	电力 电池	电动机 内燃机 重力、弹性力(弹簧)

续表

项目	液压与液力传动	气动	电力传动	机械传动
功率传递元件	金属管道、软管	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)	大 压力高、出力大、尺寸小	较小 压力较低	小 电动机功率重量比只有 液压马达的 10%	大 选型和布置成所需尺寸的 容易性不如液压传动
无级可控制性 (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 (电器、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	主要完成直线 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。它包括液体传动和气压传动。液体传动又分成液压传动和液力传动两种。本书根据车辆流体传动的应用特点主要介绍液压与液力传动，对气压传动技术不作介绍。

液体传动是用液体作为工作介质来传递能量和进行控制的传动方式。液压与液力传动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 $M_D \omega_D$ ，然后把它变换成某种机械能量；同时也总有一个被动元件，把这种介质的能量变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”。

液压传动和液力传动的共性原理如图 1.2 所示。

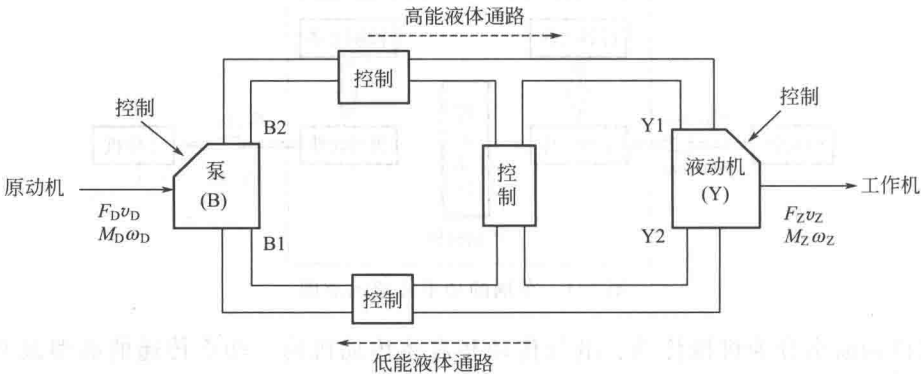


图 1.2 液体传动机构的组成

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液体介质的能量。

在液压与液力传动中，如果忽略泵上的机械摩擦，这样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。

两种液体传动的区别在于: 液压系统利用液压泵将原动机的机械能转换为液体的压力能, 通过液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, 借助于液压执行元件(液压缸或马达)把液体压力能转换为机械能, 从而驱动工作机构, 实现直线往复运动和回转运动。即:

$$\left. \begin{aligned} F_D v_D \\ M_D \omega_D \end{aligned} \right\} = Q_B (p_{B2} - p_{B1}) \quad \left. \begin{aligned} Q_Y (p_{Y1} - p_{Y2}) \\ F_Z v_Y \\ M_Z \omega_Y \end{aligned} \right\} \quad (1.1)$$

式中 角标 B_1, B_2 ——表明液体在原动机的进口处和出口处的各种物理量;

角标 Y_1, Y_2 ——表明液体在液动机的进口处和出口处的各种物理量;

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。

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。即:

$$\left. \begin{aligned} M_{By} \omega_B &= Q (p_{B2} - p_{B1}) + \rho Q_B \frac{v_{B2}^2 - v_{B1}^2}{2} \\ Q_Y (p_{Y1} - p_{Y2}) + \rho Q_Y \frac{v_{Y1}^2 - v_{Y2}^2}{2} &= M_{yY} \omega_Y \end{aligned} \right\} \quad (1.2)$$

式中, ρ 为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, 液压传动中的泵(液压泵)、液动机(分液压马达和液压缸两类)与液力传动中的泵(泵轮)、液动机(涡轮), 在原理上和结构上有着根本的区别, 理解、分析、研究和设计它们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。一般说, 液压传动的应用范围要比液力传动广泛得多。

大体上可以对两种液体传动的功能作如下的分析比较。

液力传动比液压传动的能容(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可达几千千瓦, 而液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对液体介质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优越性。

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传动, 而且液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。

液压传动和气压传动是根据 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新兴技术, 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。液压传动在各类机械行业中的应用情况见表 1.2。

表 1.2 液压传动在各类机械行业中的应用

行业名称	应用举例
工程机械	盾构机、挖掘机、装载机、推土机、压路机、铲运机等
矿山机械	凿岩机、开采机、开掘机、破碎机、提升机、液压支架等
起重运输机械	汽车吊、叉车、装卸机械、皮带运输机等
建筑机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等
农业机械	联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	轧钢机、电炉炉顶及电极升降机、压力机等
汽车工业	自卸式汽车、高空作业车、平板车、汽车中的转向器和减振器等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、橡胶硫化机、造纸机等
智能机械	机器人、折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱等

道路模拟试验是在试验室模拟路面振动最先进的试验方法之一。图 1.3 为高精度道路模拟试验的物理仿真系统的外形图。全系统由机械台体、液压、电控、测量等分系统构成。

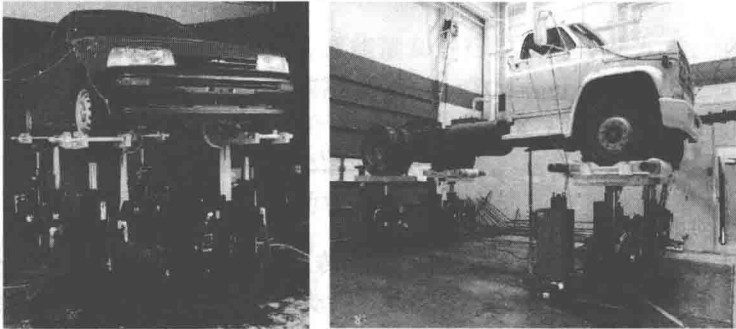


图 1.3 高精度道路模拟试验

图 1.4 为典型的工程机械外形图。工程机械主要用于道路、机场、路堤、海港、大坝等工程的基础施工，其工作装置的液压驱动和控制要求十分高，通过液压传动可保证作业性能好、生产效率高、适应能力强的特点。

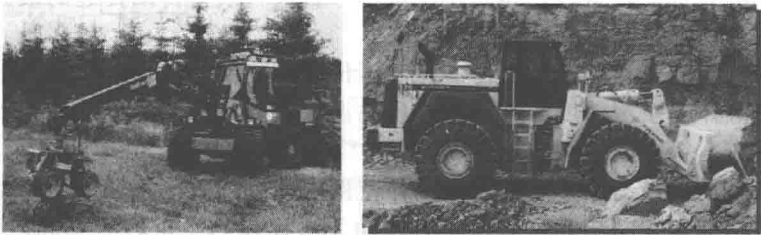


图 1.4 工程机械

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

国已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机械等。图 1.5 所示为液力变矩器及液压控制系统在小轿车上的应用。

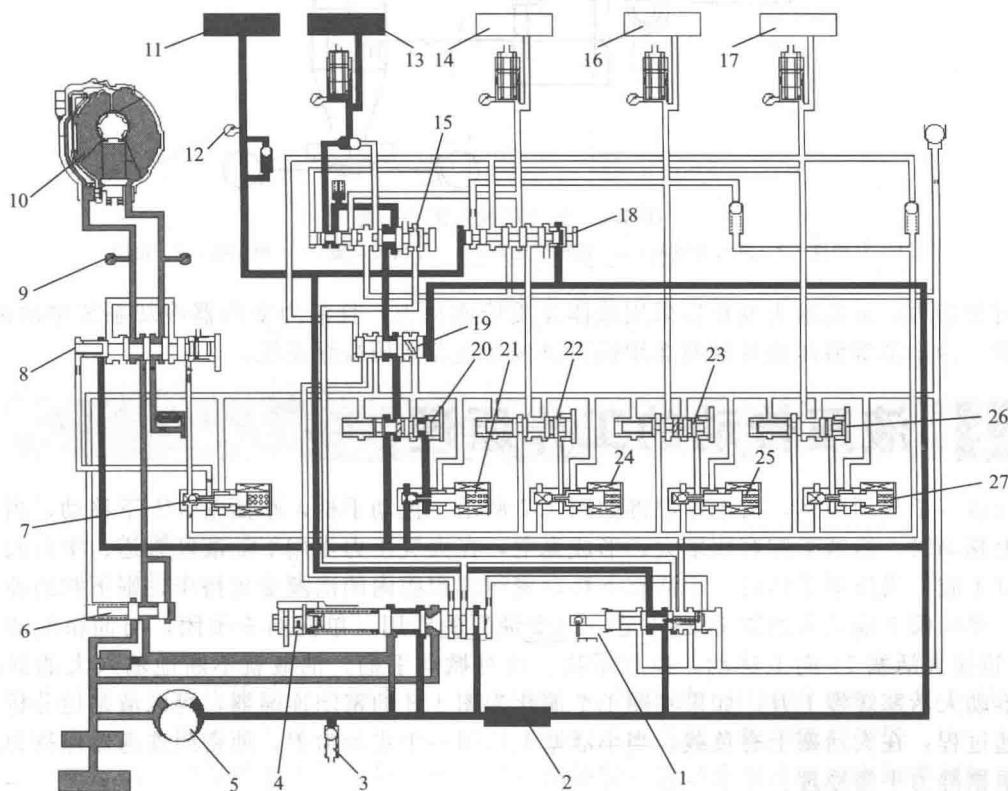


图 1.5 液力变矩器及液压控制系统示意图

- 1—手动阀; 2—滤油器; 3—调节阀; 4—溢流阀; 5—油泵; 6—变矩器压力阀; 7—闭锁离合器电磁阀; 8—变矩器控制阀; 9—测压口; 10—变矩器; 11—倒挡离合器; 12—测压口; 13—1挡和倒挡制动器; 14—2挡制动器;
15—液控阀 A; 16—3挡离合器; 17—超速挡离合器; 18—液控阀 B; 19—开关阀; 20—1挡和倒挡控制阀; 21—1挡和倒挡电磁阀; 22—2挡控制阀; 23—3挡控制阀; 24—2挡电磁阀;
25—3挡电磁阀; 26—超速挡控制阀; 27—超速挡电磁阀

液力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耦合器全部功能外,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 1.6 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。

液力机械传动的主要优点,一是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;二是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,提高机件的使用寿命;三是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;四是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

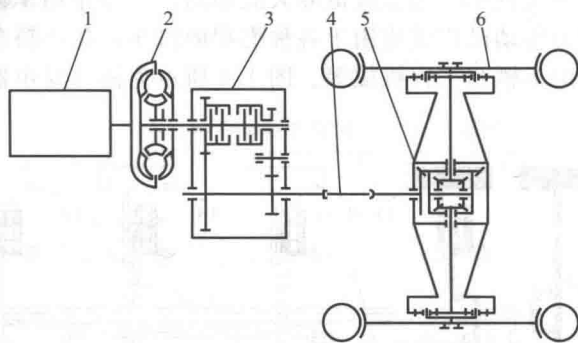


图 1.6 液力机械式传动系统

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

车辆行驶能力；五是液力变矩器采用液体介质传递动力，且液力变矩器冷却系统中的油泵、滤油器、冷却器等液压组件同时兼用换挡机械变速器液压操纵系统。

1.1 液压传动的工作原理

以液压千斤顶为例，其工作原理如图 1.7 所示。扳动手柄，小活塞 3 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 5 进入油缸下腔；当压下手柄时，小活塞下移，密封容积腔内的油液受到挤压，则下腔的油液经管道、单向阀 7 输入大油缸 12 的下腔（因受油压的作用，单向阀 5 关闭，与油箱的油液隔断），迫使大活塞 11 向上移动，顶起重物。反复掀动手柄，油液就不断地输入大油缸的下腔，推动大活塞缓慢上升。如果将图 1.7 简化为图 1.8 的密闭连通器，可以清楚地分析其动力传递过程：在大活塞上有负载，当小活塞上作用一个主动力 P ，使密闭连通器保持力的平衡。根据静力平衡原理：

$$\text{大活塞 11 上的压力} = \frac{4W}{\pi D^2}$$

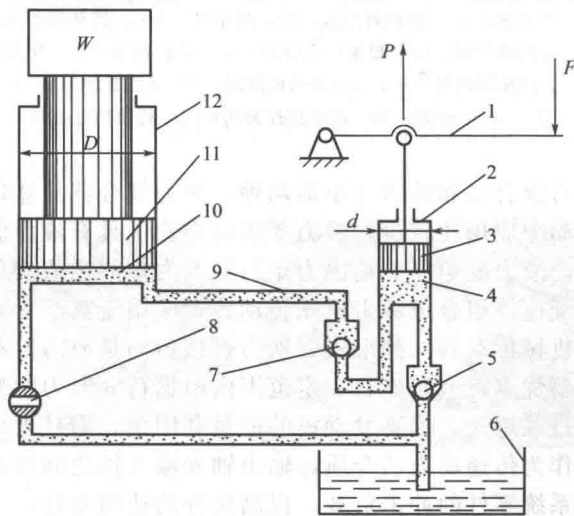


图 1.7 液压千斤顶原理图

1—杠杆；2—小油缸体；3—小活塞；4,10—油腔；5,7—单向阀；6—油箱；8—放油阀；9—油管；11—大活塞；12—大油缸

$$\text{小活塞 3 上的压力} = \frac{4P}{\pi d^2}$$

式中 D ——大活塞的直径；
 d ——小活塞的直径。

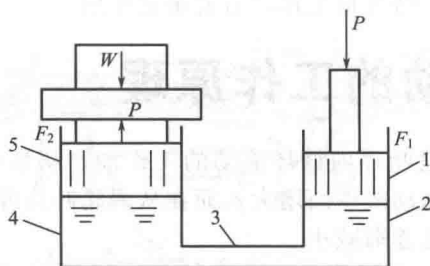


图 1.8 密闭连通器

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，故：

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

式中 F_2 ——大活塞的直径；
 F_1 ——小活塞的直径。

这样，可用较小的力平衡大活塞上很大的负载力：

$$W = \frac{F_2}{F_1} P \quad (1.3)$$

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是，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 1.9 所示，其主要由以下 4 个部分组成。

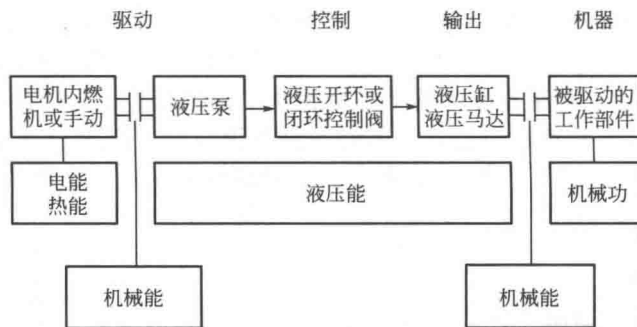


图 1.9 液压传动系统功率传递流程

① 能源装置 将机械能转换成液压能的一种装置，一般常见形式为液压泵，它为液压系统提供压力油，使整个系统能够动作起来。

② 执行装置 把油液的液压能转换成机械能的装置。如液压缸、液压马达等。

③ 控制调节装置 控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向的装置。如溢流阀、节流阀、换向阀等。

④ 辅助装置 液压系统除上述三项装置以外的其他装置。如油箱、滤油器、油管等，对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作，有着重要作用。

1.2 液力传动的工作原理

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。

液力传动原理是，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之外，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扭力矩相等。

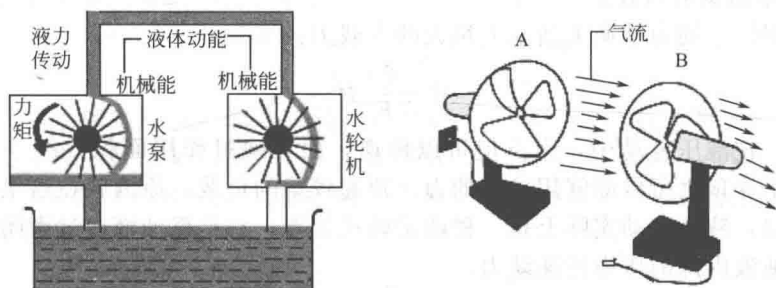
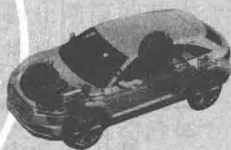


图 1.10 液力传动的工作原理

第2章

CHAPTER 2



车辆液压与液 力传动基础

2.1 流体力学基础

(1) 液体静力学基础

静止液体的性质主要是讨论其处于静止状态或相对静止状态的液体受力平衡问题。

① 液体的压力 液体的压力是指液体在单位面积上所受的作用力。设液体在面积 A (m^2) 上所受的作用力为 P (N), 则液体的压力 p 为:

$$p = \frac{P}{A} \quad (2.1)$$

如果液体中各点的压力不均等, 则液体中某一点的压力可取该点附近的极限值表示, 即:

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta A} \quad (2.2)$$

由于液体不能抵抗切向力, 所以液体的压力垂直于承受压力的表面, 并且在静止液体中, 任何一点所受的各方向的压力都相等。

② 绝对压力和相对压力 设如图 2.1 所示的容器中盛有液体, 液面上的压力为大气压力 p_0 , 液面下深度为 h 处的一点 a 所承受的作用力, 比液面处多出高度为 h 的液体的重力。因此 a 点液体所受的压力 p_a 为:

$$p_a = p_0 + \gamma h \quad (2.3)$$

式中 γ ——液体的重度;

p_a ——液体的绝对压力。

在一般液压传动中, 通常所谓的液体压力是指相对压力, 用压力表测量出的压力也是相对压力。在液压系统的压力管路中, 液体所在位置的高度对于压力的影响很小时, 一般可以忽略不计。在某些管路中, 例如油泵的吸油管路中, 就必须考虑液面距离油泵吸入口的相对高度, 以免在油泵的吸油口造成过大的真空度, 影响液压

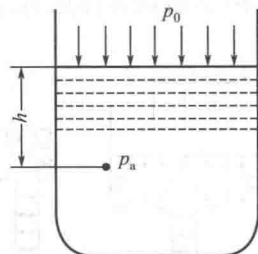


图 2.1 绝对压力和
相对压力示意图

泵的正常工 作。常用的压力单位见表 2.1。

表 2.1 常用的压力单位

帕(Pa)	巴(bar)	千克力/厘米 ² (kgf/cm ²)	工程大气压 (at)	标准大气压 (atm)	毫米水柱 (mmH ₂ O)	毫米水银柱 (mmHg)
9.8065×10 ⁴	9.8065×10 ⁻¹	1	1	9.67841×10 ⁻¹	1×10 ⁴	7.35559×10 ²

液 压 传 动 中 的 不 同 压 力 含 义 如 图 2.2 所 示。

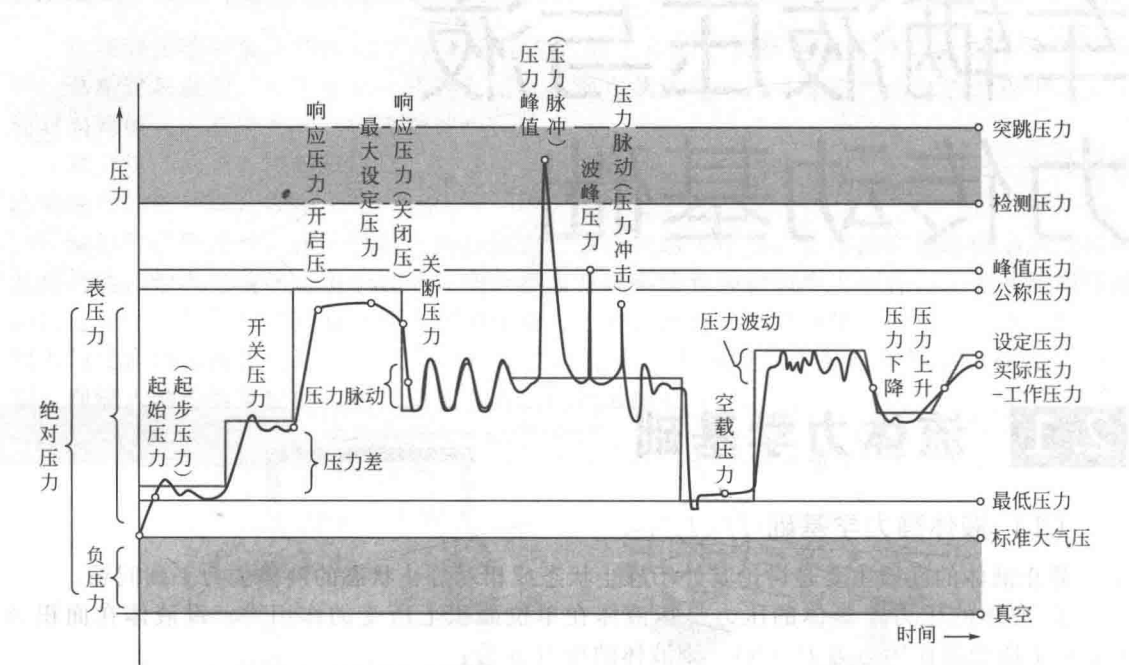


图 2.2 压力的含义

③ 压力的传递 当盛放在密封容器内的液体，其外加压力发生变化时，只要液体仍保持其原来的静止状态不变，液体任一点的压力，均将发生同样大小的变化，即在密封容器内，施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体的各点，此为静压传递原理，或称帕斯卡原理。

在液压系统中，通常由外力产生的压力要比液体本身重力引起的压力大得多，为此可把式(2.3)中的 γh 项略去不计，而认为静止液体中的压力到处相等。图 2.3 所示是运用帕斯卡原理寻找推力和负载间关系的实例。图中垂直液压缸的截面积为 A_1 ，其活塞上作用一个负载 F_1 ，缸内液体压力为 $p_1=F_1/A_1$ ；水平液压缸的截面积为 A_2 ，其活塞上作用一个推力 F_2 ，缸内液体压力为 $p_2=F_2/A_2$ 。由于两缸互相连通，构成一个密封容器，因此按帕斯卡原理有：

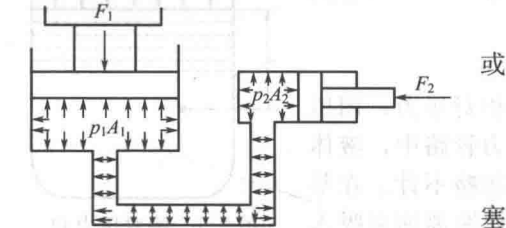


图 2.3 帕斯卡原理应用实例

$$p_1 = p_2$$

或

$$F_2 = \frac{A_2}{A_1} F_1 \tag{2.4}$$

如果垂直液压缸的活塞上没有负载，则当略去活塞重力及其他阻力不计时，不论怎样推动水平液压缸的活塞，也不能在液体中形成压力，说明液压系统中

的压力是由外界负载决定的,这是液压传动中的一个基本概念。

(2) 液体动力学基础

液压系统中的油液在压力差的作用下,不断流动着,因此我们除了研究静止油液的基本力学规律外,还必须讨论流动油液的力学规律。另外,流动液体由于重力、惯性力、黏性摩擦力等影响,不同时间的运动变化除了对液体的能量损耗有所影响外,并无现实意义,而在工程上感兴趣的是整个流体在空间某特定点或特定区域内的平均运动情况。此外,流动液体的状态还与温度、黏度参数有关,为了简化条件便于分析起见,一般都在等温的条件下讨论液体的流动情况,因而可把黏度看做是常量,密度只与压力有关。

① 理想液体和恒定流动 液体是有黏性的,而且黏性要在液体流动时才会表现出来,因此研究液体流动时必须考虑黏性的影响。由于液体中的黏性阻力是一个非常复杂的问题,所以开始分析时可以假设液体没有黏性,然后再考虑黏性的作用并通过实验验证的办法对理想结论进行补充或修正。利用这种办法同样可以处理液体的可压缩性的问题。一般把既无黏性亦无可压缩性的假想液体称为理想液体,而把事实上既有黏性又有可压缩性的液体称为实际液体。

液体流动时,如液体中任何点处的压力、速度和密度都不随时间变化,就称为液体作恒定流动(定常流动或非时变流动);反之如压力、速度或密度中有一个随时间变化时,就称为非恒定流动(非定常流动或时变流动)。研究液压系统静态性能时,可认为液体作恒定流动,研究其动态性能时则必须按非恒定流动来考虑。

② 液流连续性原理 当理想液体在管中稳定流动时,根据物质不灭定律,液体在管内既不能增多,也不能减少,因此在单位时间内流过管子每一横截面的液体质量一定是相等的。这就是液流的连续性原理。如图 2.4 所示,液体在不等截面中的流动,设截面 1 和 2 的面积分别为 A_1 和 A_2 ,在这两个截面中液体平均流速分别为 v_1 和 v_2 ,同时理想液体是不可压缩的,即在两个截面处液体的密度都是 ρ ,根据液流的连续性原理,流经两截面 1 和 2 的液体质量应当相等,即:

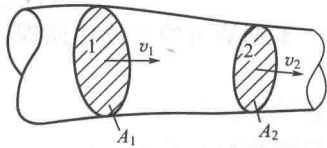


图 2.4 液流连续简图

$$\rho v_1 A_1 = \rho v_2 A_2 = \rho v A = \text{常量} \quad (2.5)$$

式(2.5)称为液流的连续方程式。

将式(2.5)除以 ρ 则得:

$$v_1 A_1 = v_2 A_2 = v A = \text{常量} \quad (2.6)$$

或

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{A_2}{A_1} \quad (2.7)$$

式(2.6)说明,通过管内不同截面的液流速度与其截面积的大小成反比,即管子细的地方流速大,管子粗的地方流速小。

式(2.5)中流速 v 和截面积 A 的乘积表示单位时间内流经管路液体的容积,称为流量。一般流量用 Q 表示,即:

$$Q = vA \quad (2.8)$$

流量 Q 的单位常用“L/min”表示。

③ 伯努利方程

a. 在惯性参照系中的流束段的能量守恒定律——绝对运动的伯努利方程。

在液压传动系统中是利用有压力的流体来传递能量的,如图 2.5 所示为液体流经管道的