



21世纪全国高等院校汽车类**创新型**应用人才培养规划教材

# 车辆液压传动与控制技术

田晋跃 主编

- ☑ 精选内容：介绍液压元件结构及工作原理
- ☑ 突出实践：导入案例应用案例多方位辅助教学
- ☑ 深化学习：液压系统仿真分析提升职业技能



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

九江学院图书馆

1540873



1826399

21 世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材

# 车辆液压传动与控制技术

主 编 田晋跃

副主编 于 英

不外借

V463.22/  
7625

九江学院图书馆  
藏书章



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书对目前自行式车辆上出现的各种形式的液压元件的结构及工作原理作了全面介绍,并介绍了主要液压元件的设计方法。本书主要内容包括液压传动基础、典型液压元件、液压传动基本回路、系统设计方法和液压系统建模分析,重点介绍了液压元件的组成、工作原理、结构特点以及设计方法,分析了简单液压回路的工作原理和车辆静液压系统的匹配原则等。

本书内容深入浅出、图文并茂、结合实际,并注意引导读者深化学习。书中附有多个实例,可供读者在学习和实践中参考。

本书可作为车辆工程、工程机械、建筑机械、矿山机械、石油机械、起重运输机械等专业大专院校本科生和研究生的教学参考书,也可供科研单位、工厂及相关工程技术人员参考使用。

### 图书在版编目(CIP)数据

车辆液压传动与控制技术/田晋跃主编. —北京:北京大学出版社, 2011.8

(21世纪全国高等院校汽车类创新型应用人才培养规划教材)

ISBN 978-7-301-19293-1

I. ①车… II. ①田… III. ①汽车—液压传动系统—高等学校—教材 IV. ①U463.22

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 148155 号

书 名: 车辆液压传动与控制技术

著作责任者: 田晋跃 主编

策 划 编 辑: 童君鑫

责 任 编 辑: 姜晓楠

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-19293-1/TH·0248

出 版 者: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> <http://www.pup6.com>

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62750667 出版部 62754962

电 子 邮 箱: [pup\\_6@163.com](mailto:pup_6@163.com)

印 刷 者: 北京飞达印刷有限责任公司

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 319 千字

2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 28.00 元

---

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究

举报电话: 010-62752024

电子邮箱: [fd@pup.pku.edu.cn](mailto:fd@pup.pku.edu.cn)

# 前 言

本书是为满足我国高等院校车辆工程、工程机械、建筑机械、矿山机械、石油机械、起重运输机械、农业机械和物流工程等相关专业方向的本科生及研究生进行专业学习,以及从事车辆液压系统及液压元件设计等行业的技术人员参考使用而编写出版的。

开设“车辆液压传动与控制技术”课程的目的是使学生掌握液压传动的基本工作原理、控制元件的结构及在液压回路中的作用等知识,锻炼他们设计和分析液压系统的初步能力,为其以后学习专业课及从事专业技术工作打下坚实的理论基础。

液压传动有许多突出的优点,其应用领域非常广泛,如行走机械中的工程机械、建筑机械、农业机械、汽车工程等,有关液压传动的技术书籍也如雨后春笋般呈现在广大读者面前。本书力求有别于诸多同类书籍,编者结合多年来在液压传动实践和教学上的经验与体会,从实际运用这一角度出发,加入大量的工程实例,以期能帮助读者掌握和运用液压传动的基本理论和方法。

本书共分10章。第1章绪论,主要介绍液压传动技术在不同领域的应用及发展状况、液压传动的工作原理、系统的组成以及液压传动的优缺点。第2章车辆液压传动基础,介绍了液体静力学、液体动力学基本原理以及液压传动的介质。第3、第4、第5章和第6章分别为液压泵及马达,液压阀,液压缸,以及辅助元件,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章液压基本回路,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章车辆液压作业系统和系统设计,主要介绍了典型车辆液压传动系统的分析、设计和计算方法。第9章车辆液压行走驱动系统,主要阐述了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章液压系统建模简介,主要分析液压马达及液压阀系统的动态特性,对系统建模的方法提供一些思路,是读者学习掌握系统建模的理论基础,便于今后应用各类计算机软件进行仿真。

本书的编写特点如下。

(1) 为体现本课程实践性和应用性较强的特点,本书提供多个应用案例供读者分析、研读,同时给出教学目标、教学要求等相关内容,加深和巩固所学知识,提供形式多样的思考题,以便读者巩固液压元件的相关知识。因此,本书内容体系不同于以往的同类教材。

(2) 本书紧密结合本课程的教学基本要求,教材内容完整系统、重点突出,所用资料力求更新、更准确地解读难点。本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结合在一起,强调知识的应用性,具有较强的针对性。

(3) 本书以案例的形式介绍了目前用于液压系统仿真分析的软件,通过具体的案例,介绍软件的应用背景,便于读者进一步提高。

编者近年来一直从事车辆工程传动实用技术的研究,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。

本书由田晋跃负责全书结构的设计,拟定写作提纲,组织编写,以及统稿、定稿工作。各章具体分工如下:第3、第4、第5、第6章和第7章由于英编写,第1、第2、第8、第9章和第10章由田晋跃编写。

研究生李光、陈禹至、陈利东、陈红燕、聂发勇、田刚等为本书组织插图,编写习题及案例等做了大量工作,编者在此表示谢意。

编者在本书编写过程中,参考了大量的国内外文献资料,在此,谨向这些文献的作者表示深深的谢意。

本书提出的观点、方法仅为编者个人的看法,不足之处在所难免,希望读者批评指正。

编 者

2011年5月

# 目 录

|                              |     |                               |     |
|------------------------------|-----|-------------------------------|-----|
| 第 1 章 绪论 .....               | 1   | 思考题 .....                     | 102 |
| 1.1 液压传动的工作原理 .....          | 5   | 第 5 章 液压缸 .....               | 105 |
| 1.2 液压传动的组成 .....            | 7   | 5.1 液压缸的基本类型 .....            | 106 |
| 1.3 液压传动的特点 .....            | 7   | 5.2 液压缸的构造 .....              | 109 |
| 本章小结 .....                   | 8   | 5.3 液压缸的设计计算 .....            | 115 |
| 思考题 .....                    | 8   | 本章小结 .....                    | 118 |
| 第 2 章 车辆液压传动基础 .....         | 9   | 思考题 .....                     | 118 |
| 2.1 液压传动的流体力学基础 .....        | 10  | 第 6 章 辅助元件 .....              | 120 |
| 2.2 液体流动中的压力损失 .....         | 17  | 6.1 蓄能器 .....                 | 121 |
| 2.3 液体流经小孔和缝隙的流量<br>计算 ..... | 23  | 6.2 滤油器 .....                 | 125 |
| 2.4 液压冲击与空穴现象 .....          | 26  | 6.3 油箱 .....                  | 128 |
| 2.5 液压传动介质 .....             | 29  | 6.4 管道元件及密封 .....             | 129 |
| 本章小结 .....                   | 34  | 本章小结 .....                    | 131 |
| 思考题 .....                    | 35  | 思考题 .....                     | 131 |
| 第 3 章 液压泵及马达 .....           | 38  | 第 7 章 液压基本回路 .....            | 132 |
| 3.1 概述 .....                 | 39  | 7.1 压力控制回路 .....              | 133 |
| 3.2 液压泵的主要性能参数 .....         | 40  | 7.2 速度控制回路 .....              | 139 |
| 3.3 齿轮液压泵 .....              | 42  | 7.3 方向控制回路 .....              | 151 |
| 3.4 叶片液压泵 .....              | 48  | 本章小结 .....                    | 153 |
| 3.5 柱塞液压泵 .....              | 59  | 思考题 .....                     | 153 |
| 3.6 液压马达 .....               | 63  | 第 8 章 车辆液压作业系统和<br>系统设计 ..... | 157 |
| 本章小结 .....                   | 68  | 8.1 典型车辆液压作业系统 .....          | 158 |
| 思考题 .....                    | 69  | 8.2 车辆液压系统设计 .....            | 167 |
| 第 4 章 液压阀 .....              | 72  | 本章小结 .....                    | 178 |
| 4.1 概述 .....                 | 73  | 思考题 .....                     | 178 |
| 4.2 压力控制阀 .....              | 75  | 第 9 章 车辆液压行走驱动系统 .....        | 181 |
| 4.3 方向控制阀 .....              | 85  | 9.1 液压行走驱动系统的设计 .....         | 182 |
| 4.4 流量控制阀 .....              | 95  | 9.2 液压驱动车辆的动力特性 .....         | 188 |
| 4.5 比例阀和逻辑阀 .....            | 99  | 本章小结 .....                    | 197 |
| 本章小结 .....                   | 102 |                               |     |



|                              |            |                     |            |
|------------------------------|------------|---------------------|------------|
| 思考题 .....                    | 197        | 10.3 液压系统动态建模 ..... | 206        |
| <b>第 10 章 液压系统建模简介 .....</b> | <b>199</b> | 本章小结 .....          | 210        |
| 10.1 液压马达动态建模 .....          | 202        | 思考题 .....           | 211        |
| 10.2 液压阀动态建模 .....           | 203        | <b>参考文献 .....</b>   | <b>212</b> |

# 第1章

## 绪论



### 本章教学目标

通过本章的学习，对整个液压传动技术的应用与发展有个整体的认识，掌握液压传动的工作原理以及系统的组成，掌握液压传动的优缺点。



### 本章教学要求

| 知识要点            | 能力要求              | 相关知识                    |
|-----------------|-------------------|-------------------------|
| 液压传动技术概况        | 了解目前国内外液压传动技术的概况  | 液压传动技术在不同领域的应用与发展状况     |
| 液压传动的工作原理及其系统组成 | 掌握液压传动的工作原理及其系统组成 | 液压传动的定义、两个特性以及液压传动系统的组成 |
| 液压传动的特点         | 掌握液压传动的优缺点        | 液压传动的优点及缺点              |



## 导入案例

“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。实际上，“流体传动”这门学科研究的是能量传递，即流体在静止状态下压力能的传递规律。这样，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，适用的是液压流体力学的传动规律，压力、能源或简单的信号，都通过流体压力的形式来传递，因此对于液压静力学(静止流体的力学)和液压力学(流动流体的力学)的基本定律，我们会在以下的学习中分别展开讨论。图 1.1 为目前液压传动及控制技术的总发展要求。

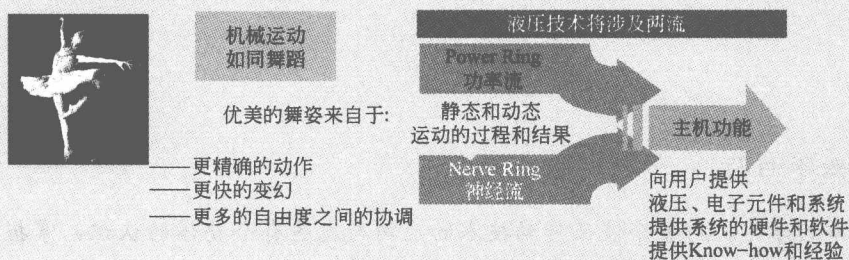


图 1.1 液压传动及控制技术的总发展要求

液压技术近几年发展的速度非常迅猛，尤其在电子技术及计算机控制日益发展的今天，液压技术已迅速渗入各个学科领域。液压技术是实现现代化传动与控制的关键技术之一，液压挖掘机就是目前液压传动及控制技术高度融合的典型案列。图 1.2 为液压挖掘机的外形图。

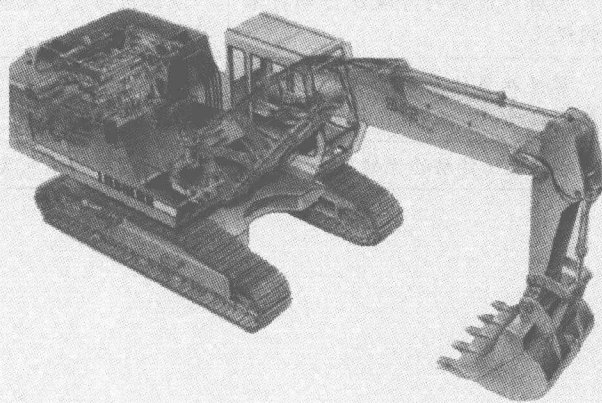


图 1.2 液压挖掘机

一台完整的机器由原动机部分、传动机构及控制部分、工作机部分(含辅助装置)组成。原动机采用电动机、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，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借助于它达到对动力的传递和控制的目的。

传动机构通常分为机械传动机构、电气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。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。

表 1-1 功率传递的类型及其特点

|                     | 液压传动                    | 气动                    | 电力传动                  | 机械传动                   |
|---------------------|-------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 能量来源<br>(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)     |
| 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<br>(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<br>(加速、减速制动) | 非常好(通过压力和流量)            | 好(通过压力和流量)            | 好,空易实现电器、开环、闭环控制      | 好                      |
| 输出动力类型              | 可通过液压缸或液压马达,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 | 实现直线运动、旋转运动           | 直线和旋转运动                |

液压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。

液压传动的基本原理为: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。其中的液体称为工作介质,一般为矿物油,它的作用和机械传动中的皮带、链条和齿轮等传动元件相类似。

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,动力可达数兆瓦。液压传动在各类机械行业中的应用见表 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、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 |

道路模拟试验是在实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。

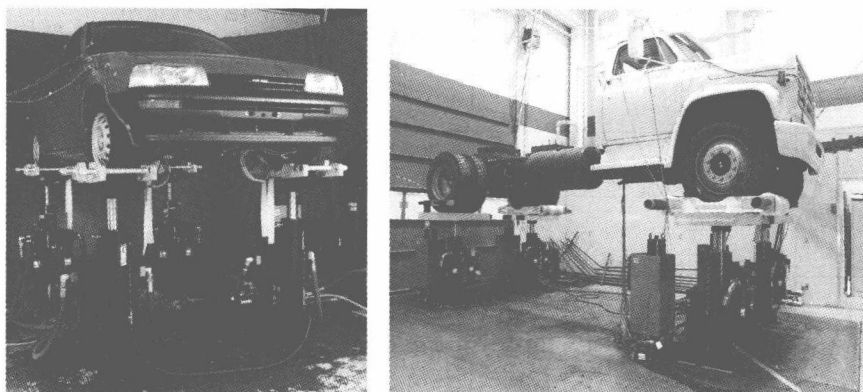


图 1.3 高精度道路模拟试验物理仿真系统

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很高，通过液压传动可保证作业性能好、生产效率高、适应能力强。



图 1.4 工程机械

图 1.5 为汽车的转向驱动桥，其转向执行机构和悬架的阻尼系统采用了液压控制技术。

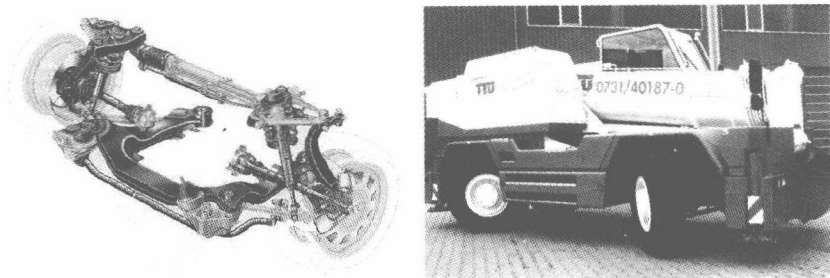


图 1.5 汽车转向驱动桥

目前液压传动及控制技术的主要进展如下。

- (1) 系统实现机电液一体化。
- (2) 促进生产工程与产品网络化和全球化。
- (3) 提高过程控制的质量、效率、可靠性和柔性。
- (4) 实现在空间、海洋、地下有危险和极端条件下工作的装备的制造与运行。

21 世纪各类机械对液压系统的要求(发展趋势)将集中在以下几个方面。

- (1) 减少能耗，充分利用能源。
- (2) 控制污染。
- (3) 网络故障诊断和主动维护。
- (4) 机电一体化，实现液压系统柔性化和智能化。
- (5) 新材料和新工艺的应用。
- (6) 更高的可靠性。

## 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 1.6 所示。搬动小活塞 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，密封容积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，顶起重物。反复搬动手柄，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 1.6 简化为图 1.7 的密闭连通器，则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  $P$  时，密闭连通器保持力的平衡。根据静力平衡原理，有以下关系成立

$$\text{大活塞 5 上的压力} = \frac{W}{A_2}$$

$$\text{小活塞 1 上的压力} = \frac{P}{A_1}$$

式中， $A_2$  为大活塞的面积； $A_1$  为小活塞的面积。

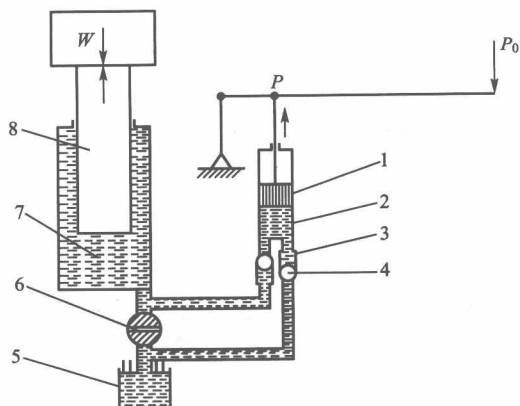


图 1.6 液压千斤顶工作原理图

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

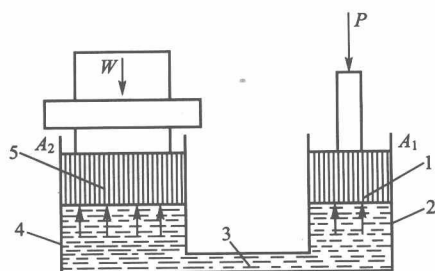


图 1.7 密闭连通器

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，故

$$\frac{W}{A_2} = \frac{P}{A_1} = p$$

这样，可用较小的力平衡大活塞上很大的负载力

$$W = \frac{A_2}{A_1} \cdot P \quad (1-1)$$

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( $A_2$  与  $A_1$ )的不同可以放大。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。



### 应用案例 1-1

分析图 1.8 中力的平衡特性。

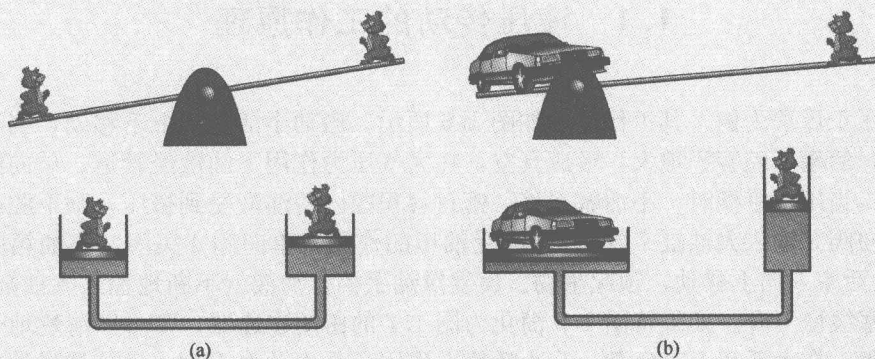


图 1.8 液压力的传递

图 1.8(a)与图 1.8(b)为不同结构参数的连通器，其与机械杠杆的作用相似，完成力的传递。流体静压力具有下列两个特征：①流体静压力垂直于其作用面，其方向与该作用面的内法线方向相同；②静止流体中任意点的流体静压力的大小与其作用面的方位无关，即同一点上各个方向的流体静压力都相等。

由上述可知, 液压传动实际上是一种能量转换装置, 它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: ①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; ②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。

## 1.2 液压传动的组成

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。

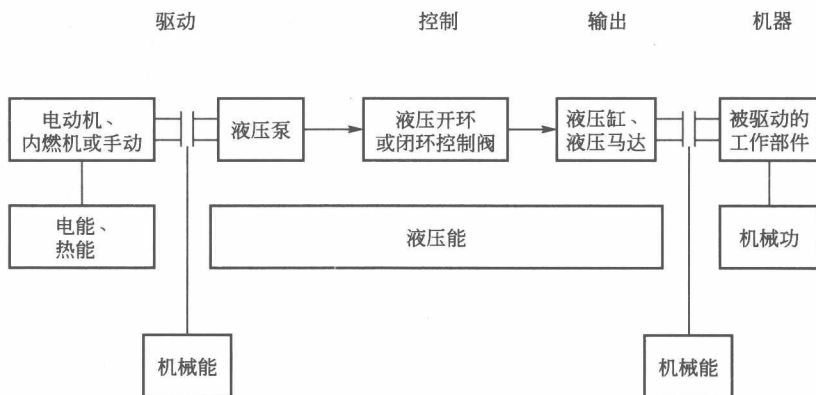


图 1.9 液压传动系统功率传递流程

(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, 这些辅助装置对保证液压系统可靠、稳定、持久地工作, 有着重要作用。

## 1.3 液压传动的特点

液压系统包括液压传动系统和电液控制系统。液压传动因为具备很多其他传动方式所没有的独特优点, 所以得到了广泛应用; 电液系统利用电信号容易处理的特点, 既可产生很大动力, 又可实现高精度控制。

液压传动优点如下。

(1) 液压传动与机械、电力和气动相比, 在输出同等功率的条件下, 其结构紧凑、体积小、质量轻、承载能力强。



(2) 采用液压传动能获得各种复杂的机械动作, 便于实现自动化, 如仿形车床的液压刀架、数控铣床的液压工作台以及自动线中的液压系统。

(3) 液压系统有卸荷、减压、增压和保压等装置和回路, 很容易实现自动控制。

(4) 可以自由地实现无级调速, 而且能获得很大的调速比。如果用调速范围在  $0.02 \sim 100 \text{ L/min}$  的节流阀, 它的调速比可以达到 5000, 这是其他传动方式无法比拟的。同时液压传动还容易获得极低的速度, 如每秒钟运动几微米的速度, 几十天旋转一周的转速等。

(5) 惯性小, 动作灵敏, 启动、制动迅速, 运动平稳, 可实现快速而无冲击地变速和换向。一个中等功率的电动机启动需要几秒钟, 而液压马达只需  $0.1 \text{ s}$ 。

(6) 动力的传递和储存都很方便。由于用管道传递压力油, 所以液压元件、机构和装置都易于布置, 各元件的安装自由度大, 可以随意放在任何适当的位置上, 并能远距离操纵。

(7) 自动防止过载, 避免发生事故。

(8) 液压传动可简化机械的结构, 减少零件数目, 使产量增加, 成本降低。

(9) 易于实现系列化、标准化、通用化, 故易于设计、制造和推广应用, 缩短了制造周期并提高了生产效率。

液压传动也有一些缺点, 主要有如下几点。

(1) 液压传动装置以液体为工作介质, 无法避免泄漏。液体的泄漏和液体的可压缩性使液压传动无法保证严格的传动比。

(2) 液压传动装置由于在能量转换及传递过程中存在着机械摩擦损失、压力损失和泄漏损失而使总效率降低, 不宜于作远距离传动。

(3) 液压传动装置对油温和负载变化比较敏感, 不宜在低温及高温条件下工作。液压传动装置对油液的污染也比较敏感, 要求有良好的过滤设备。

(4) 液压传动装置要求有单独的能源, 液压能不像电能那样可远距离输送。

(5) 液压元件制造精度要求高, 造价贵。

(6) 液压传动装置出现故障时, 不易检查原因, 不易迅速排除。

总的来说, 液压传动的优点较多, 其缺点随着生产技术的发展正在逐步克服, 液压传动在现代化的生产中有着广阔的发展前景。

## 本章小结

本章主要介绍了液压传动技术在不同领域的应用及发展状况、液压传动的工作原理、系统的组成以及液压传动的优缺点。



1. 液压传动的工作原理是什么?
2. 液压传动的两个工作特性是什么?
3. 液压系统由几个基本装置组成?

# 第 2 章

## 车辆液压传动基础



### 本章教学目标

通过本章的学习，掌握车辆液压传动液体力学的一些基本原理；重点学习伯努利方程和动量方程的分析建立过程以及方程中各物理量的含义；了解液压传动介质的性质以及介质的选用。



### 本章教学要求

| 知识要点        | 能力要求                     | 相关知识                                                                      |
|-------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| 液压传动液体静力学基础 | 掌握液压传动液体静力学的基本原理         | 绝对压力和相对压力；<br>液体静压力基本方程                                                   |
| 液压传动液体动力学基础 | 掌握液压传动液体动力学基本原理以及液体动力学特性 | 连续性方程、伯努利方程、动量方程；<br>液体的流动状态；<br>管路中液体压力损失的计算；<br>液体流经孔口及缝隙的特性以及液压冲击及气穴现象 |
| 液压传动介质      | 了解液压传动介质的性质以及介质的选用       | 液压油的物理特性；<br>液压油的选用                                                       |



## 导入案例

液体是怎样传递压力的？

液体中的压力来源于：(1)从外部施加到液体上的力；(2)液体本身的重量所产生的重力。

让我们通过图 2.1 压力传递的例子来分析讨论压力传递方式。如果用锤子敲击盛满液体的木桶，那么由于外力产生液体压力，造成木桶的破裂。

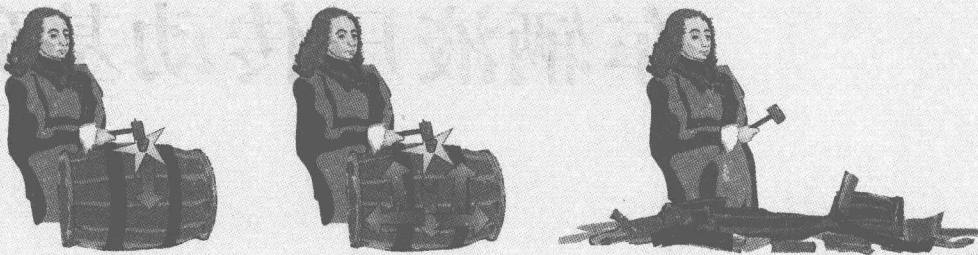


图 2.1 压力的传递

作用于静止流体中的作用力(外载荷)，在流体中会沿各个方向传递。流体产生的压力，数值上等于单位面积上的重力大小。压力总是作用在容器的约束面上，并沿其法线方向。

## 2.1 液压传动的流体力学基础

### 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  $A(\text{m}^2)$  上所受的作用力为  $P(\text{N})$ ，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

$$p = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta P}{\Delta A} \right) \quad (2-2)$$

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 2.2 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

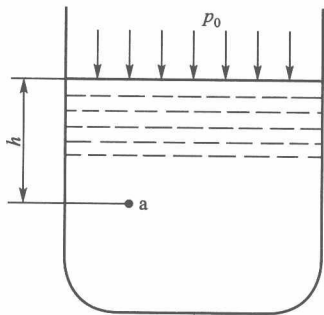


图 2.2 绝对压力和相对压力示意图