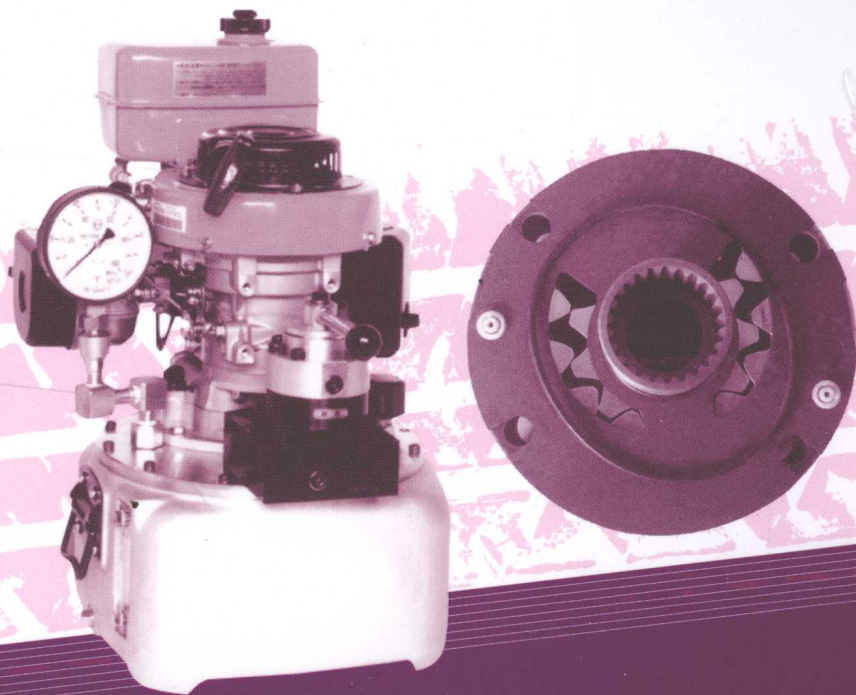


21世纪全国高职高专机电系列实用规划教材



# 液压传动

主 编 龚肖新 吴 冉



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材

# 液 压 传 动

|     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|
| 主 编 | 龚肖新 | 吴 冉 |     |
| 副主编 | 刘建新 | 吴晓路 | 王志明 |
| 主 审 | 曹建东 |     |     |



北京大学出版社  
PEKING UNIVERSITY PRESS

## 内 容 简 介

本书是根据职业技术教育的教学要求,结合现代企业技术发展的需要编写的,共 11 章,主要内容包括:液压传动的工作原理、工作介质及其主要性能和参数,常用液压元件的结构类型及图形符号,典型液压回路的功能及应用,液压系统实例分析,液压系统的使用与维护,液压传动系统的设计计算和液压传动实验课题。每章末均附有一定数量的习题,书后配有附录。

本书力求简明扼要地阐述工作原理,系统全面地介绍常用元件,并附以元件实物图,联系实际地列举典型回路;充分体现职业技术教学内容的实用性、时代性和拓展性。

本书可作为职业技术学院机械制造、机电一体化、模具、数控、自动化等专业的教材,也可作为相关专业人员和相关技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压传动/龚肖新,吴冉主编. —北京:北京大学出版社,2010.8

(21 世纪全国高职高专机电系列实用规划教材)

ISBN 978-7-301-17609-2

I. ①液… II. ①龚…②吴… III. ①液压传动—高等学校:技术学校—教材 IV. ①TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 151619 号

书 名: 液压传动

著作责任者: 龚肖新 吴 冉 主编

策 划 编 辑: 赖 青 张永见

责 任 编 辑: 李娉婷

标 准 书 号: ISBN 978-7-301-17609-2/TH · 0212

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: 世界知识印刷厂

发 行 者: 北京大学出版社

经 销 者: 新华书店

787mm×1092mm 16 开本 11.25 印张 255 千字

2010 年 8 月第 1 版 2010 年 8 月第 1 次印刷

定 价: 22.00 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

本书是职业技术教育机械制造、机电一体化、模具、数控、自动化等专业的教学用书，是作者结合现代工业自动化飞速发展的需求，经过多年的教学、科研及生产的实践，引用最新技术资料编写而成的。

本书在内容上，简明全面地讲述了液压元件的原理、结构及性能，液压基本回路的工作原理，典型液压系统的原理和特点，以及液压系统使用和维护的部分知识。本书在编排过程中，注重与生产实际紧密结合，选用较为典型的实例，使学生获得实用的技术知识。另外，为便于学生理解，大多数元件我们都配以三维剖面图或实物图片，也让学生对实际液压元件有一个初步的认识。

在编写本书时，我们遵循的指导思想是：阐明工作原理，拓展专业知识，引入先进技术信息，注重理论联系实际，培养学生理解、分析、应用的综合能力。

本书不仅可以作为职业技术学院相关专业的试用教材或培训资料，还可以供教师、学生、企业技术人员课内外学习、拓展视野或进一步提高时参考。

本书建议教学学时数为 72 学时，各章学时分配见下表(供参考)：

| 章 次                | 学 时 |
|--------------------|-----|
| 第 1 章 概论           | 2   |
| 第 2 章 液压流体力学基础     | 6   |
| 第 3 章 液压泵和液压马达     | 8   |
| 第 4 章 液压缸          | 4   |
| 第 5 章 液压控制阀        | 10  |
| 第 6 章 液压辅助元件       | 2   |
| 第 7 章 液压基本回路       | 8   |
| 第 8 章 典型液压系统       | 8   |
| 第 9 章 液压系统的安装使用与维护 | 2   |
| 第 10 章 液压传动系统的设计计算 | 4   |
| 第 11 章 液压传动实训课题    | 18  |

参加本书编写的人员有：苏州工业职业技术学院龚肖新(第 1、2、5 章)、烟台工程职业技术学院刘建新(第 3 章)、烟台职业学院王志明(第 4 章)、济宁职业技术学院吴晓路(第 6、7 章)、济宁职业技术学院吴冉(第 8、9、10、11 章)。本书由龚肖新、吴冉任主编，刘建新、吴晓路、王志明任副主编。苏州工业职业技术学院曹建东老师审阅了本书，在此表示衷心感谢。

限于编者的水平和经验，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

# 目 录

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 第1章 概论 .....            | 1  |
| 1.1 液压传动的工作原理 .....     | 1  |
| 1.2 液压传动系统的组成 .....     | 2  |
| 1.3 液压系统的图形符号 .....     | 3  |
| 1.4 液压传动的优缺点 .....      | 3  |
| 习题 .....                | 4  |
| 第2章 液压流体力学基础 .....      | 5  |
| 2.1 液压传动的工作介质 .....     | 5  |
| 2.1.1 工作介质的主要性质 .....   | 5  |
| 2.1.2 工作介质的选用 .....     | 6  |
| 2.1.3 工作介质的污染及控制 .....  | 7  |
| 2.2 液压传动的主要参数 .....     | 7  |
| 2.2.1 压力 .....          | 7  |
| 2.2.2 流量 .....          | 11 |
| 2.3 液体流动时的能量 .....      | 12 |
| 2.3.1 理想液体流动时的能量 .....  | 12 |
| 2.3.2 实际液体流动时的能量 .....  | 13 |
| 2.3.3 液压系统的能量损失 .....   | 13 |
| 2.4 液体流经小孔和间隙时的流量 ..... | 17 |
| 2.4.1 液体流经小孔的流量 .....   | 17 |
| 2.4.2 液体流经间隙的流量 .....   | 18 |
| 2.5 液压冲击和空穴现象 .....     | 18 |
| 2.5.1 液压冲击 .....        | 18 |
| 2.5.2 空穴现象 .....        | 18 |
| 习题 .....                | 19 |
| 第3章 液压泵和液压马达 .....      | 21 |
| 3.1 液压泵和液压马达概述 .....    | 21 |
| 3.1.1 液压泵的工作原理 .....    | 21 |
| 3.1.2 液压泵的性能参数 .....    | 22 |
| 3.1.3 液压马达的性能参数 .....   | 23 |
| 3.1.4 液压泵和液压马达的种类 ..... | 24 |
| 3.2 齿轮泵 .....           | 24 |

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.2.1 外啮合齿轮泵 .....     | 24 |
| 3.2.2 内啮合齿轮泵 .....     | 28 |
| 3.3 叶片泵 .....          | 28 |
| 3.3.1 双作用叶片泵 .....     | 28 |
| 3.3.2 单作用叶片泵 .....     | 30 |
| 3.4 柱塞泵 .....          | 33 |
| 3.4.1 径向柱塞泵 .....      | 33 |
| 3.4.2 轴向柱塞泵 .....      | 34 |
| 3.5 液压马达 .....         | 36 |
| 习题 .....               | 37 |
| 第4章 液压缸 .....          | 39 |
| 4.1 液压缸的类型和特点 .....    | 39 |
| 4.1.1 活塞式液压缸 .....     | 39 |
| 4.1.2 柱塞式液压缸 .....     | 42 |
| 4.1.3 伸缩式液压缸 .....     | 43 |
| 4.1.4 摆动式液压缸 .....     | 43 |
| 4.2 液压缸的结构 .....       | 44 |
| 4.2.1 缸筒与端盖的连接 .....   | 45 |
| 4.2.2 活塞与活塞杆的连接 .....  | 46 |
| 4.2.3 液压缸的密封装置 .....   | 46 |
| 4.2.4 液压缸的缓冲和排气 .....  | 48 |
| 4.3 液压缸的设计计算 .....     | 49 |
| 4.3.1 液压缸主要尺寸的计算 ..... | 49 |
| 4.3.2 液压缸的校核 .....     | 49 |
| 习题 .....               | 50 |
| 第5章 液压控制阀 .....        | 53 |
| 5.1 方向控制阀 .....        | 53 |
| 5.1.1 单向阀 .....        | 53 |
| 5.1.2 换向阀 .....        | 55 |
| 5.2 压力控制阀 .....        | 63 |
| 5.2.1 溢流阀 .....        | 63 |
| 5.2.2 减压阀 .....        | 67 |
| 5.2.3 顺序阀 .....        | 69 |

|                           |     |                                  |     |
|---------------------------|-----|----------------------------------|-----|
| 5.2.4 压力继电器 .....         | 72  | 8.1.2 工作原理 .....                 | 125 |
| 5.3 流量控制阀 .....           | 73  | 8.1.3 液压系统的特点 .....              | 126 |
| 5.3.1 节流阀 .....           | 73  | 8.2 专用铣床液压传动系统 .....             | 127 |
| 5.3.2 调速阀 .....           | 77  | 8.2.1 概述 .....                   | 127 |
| 5.4 插装阀、比例阀和叠加阀 .....     | 78  | 8.2.2 工作过程 .....                 | 128 |
| 5.4.1 插装阀 .....           | 78  | 8.3 机械手液压传动系统 .....              | 128 |
| 5.4.2 比例阀 .....           | 82  | 8.3.1 概述 .....                   | 129 |
| 5.4.3 叠加阀 .....           | 84  | 8.3.2 工作原理 .....                 | 130 |
| 习题 .....                  | 86  | 8.3.3 系统特点 .....                 | 131 |
| <b>第 6 章 液压辅助元件</b> ..... | 89  | 8.4 液压伺服系统 .....                 | 131 |
| 6.1 油箱 .....              | 89  | 8.4.1 液压伺服控制原理 .....             | 131 |
| 6.2 滤油器 .....             | 90  | 8.4.2 液压伺服系统的基本特点 .....          | 133 |
| 6.3 压力表及压力表开关 .....       | 92  | 8.4.3 液压伺服系统实例 .....             | 133 |
| 6.4 油管和管接头 .....          | 93  | 习题 .....                         | 134 |
| 6.5 蓄能器 .....             | 95  | <b>第 9 章 液压系统的安装使用与维护</b> .....  | 137 |
| 习题 .....                  | 96  | 9.1 液压系统的安装及调试 .....             | 137 |
| <b>第 7 章 液压基本回路</b> ..... | 98  | 9.1.1 液压系统的安装 .....              | 137 |
| 7.1 方向控制回路 .....          | 98  | 9.1.2 液压系统的调试 .....              | 138 |
| 7.1.1 换向回路 .....          | 98  | 9.2 液压系统的使用及维护 .....             | 139 |
| 7.1.2 闭锁回路 .....          | 99  | 9.2.1 液压油的污染与防护 .....            | 139 |
| 7.2 压力控制回路 .....          | 100 | 9.2.2 液压系统的使用注意事项 .....          | 139 |
| 7.2.1 调压回路 .....          | 100 | 9.2.3 液压系统的维护保养 .....            | 140 |
| 7.2.2 减压回路 .....          | 102 | 9.2.4 液压系统的故障排除 .....            | 140 |
| 7.2.3 增压回路 .....          | 103 | 习题 .....                         | 142 |
| 7.2.4 卸荷回路 .....          | 103 | <b>第 10 章 液压传动系统的设计计算</b> .....  | 144 |
| 7.2.5 平衡回路 .....          | 105 | 10.1 明确设计要求, 进行工况分析 .....        | 144 |
| 7.3 速度控制回路 .....          | 106 | 10.1.1 运动分析 .....                | 144 |
| 7.3.1 调速回路 .....          | 106 | 10.1.2 动力分析 .....                | 145 |
| 7.3.2 快速运动回路 .....        | 111 | 10.2 液压系统原理图的拟定 .....            | 147 |
| 7.3.3 速度换接回路 .....        | 113 | 10.2.1 确定油路类型 .....              | 147 |
| 7.4 多缸动作控制回路 .....        | 114 | 10.2.2 选择液压回路 .....              | 147 |
| 7.4.1 顺序回路 .....          | 114 | 10.2.3 绘制液压系统原理图 .....           | 148 |
| 7.4.2 同步回路 .....          | 116 | 10.3 液压元件的计算和选择 .....            | 148 |
| 习题 .....                  | 118 | 10.3.1 执行元件的结构形式及<br>参数的确定 ..... | 148 |
| <b>第 8 章 典型液压系统</b> ..... | 123 | 10.3.2 选择液压泵 .....               | 149 |
| 8.1 组合机床动力滑台液压系统 .....    | 123 | 10.3.3 选择阀类元件 .....              | 150 |
| 8.1.1 概述 .....            | 123 |                                  |     |



|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 10.3.4 选择液压辅助元件 .....     | 151 |
| 10.4 液压系统技术性能的验算 .....    | 151 |
| 10.4.1 系统压力损失的验算 .....    | 151 |
| 10.4.2 系统发热温升的验算 .....    | 151 |
| 10.4.3 系统效率验算 .....       | 152 |
| 10.5 绘制正式工作图和编写技术文件 ...   | 153 |
| 10.6 液压系统计算机辅助设计概述 .....  | 153 |
| 10.6.1 液压 CAD 软件的特点 ..... | 153 |
| 10.6.2 液压 CAD 软件的应用 ..... | 154 |
| 习题 .....                  | 155 |

## 第 11 章 液压传动实训课题.....156

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 课题一 齿轮泵拆装实训 .....     | 156 |
| 课题二 差动连接回路搭接实训 .....  | 157 |
| 课题三 溢流阀静态性能测试实训 ..... | 159 |
| 课题四 节流调速回路性能实训 .....  | 160 |
| 课题五 液压回路连接设计实训 .....  | 164 |

## 附录 ..... 166 |

## 参考文献 ..... 170 |

# 第 1 章

## 概 论

液压传动是利用密闭系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式，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，与机械传动相比，液压传动是一门新兴技术。由于液压传动有许多机械传动不能代替的优点，因此，液压传动也是工农业生产中广为应用的一门技术，液压传动技术水平的高低已成为一个国家工业发展水平的重要标志。

### 1.1 液压传动的工作原理

液压传动的工作原理可以用液压千斤顶和磨床工作台液压传动系统的工作原理来说明。图 1.1 是液压千斤顶的工作原理图。

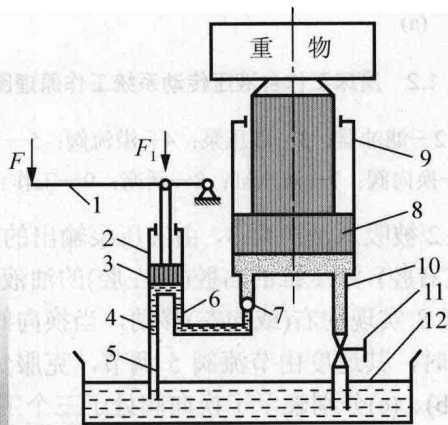


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小活塞；4、7—单向阀；5—吸油管；6、10—管道  
8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动，小活塞下端油腔容积增大，形成局部真空，这时单向阀 4 打开，通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油；用力压下手柄，小活塞下移，小活塞下腔压力高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升大油缸



9 的下腔, 迫使大活塞 8 向上移动, 顶起重物。再次提起手柄吸油时, 单向阀 7 自动关闭, 使油液不能倒流, 从而保证了重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄, 就能不断地把油液压入举升缸下腔, 使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11, 举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱, 重物就向下移动。

图 1.2 所示是磨床工作台液压系统传动工作原理图。

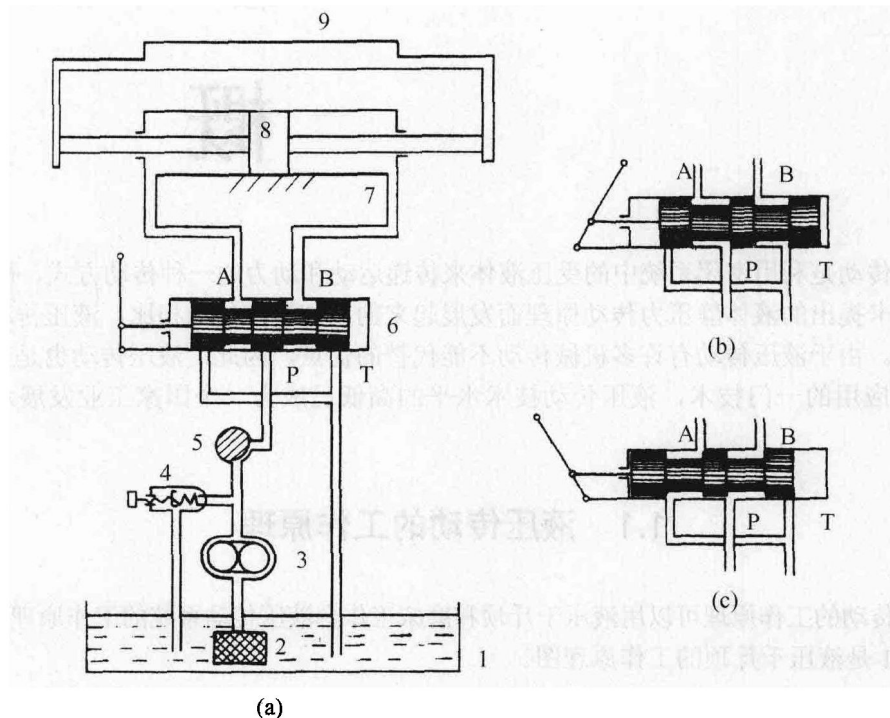


图 1.2 磨床工作台液压传动系统工作原理图

1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4—溢流阀; 5—节流阀;  
6—换向阀; 7—液压缸; 8—活塞; 9—工作台

油液由油箱 1 经滤油器 2 被吸入液压泵 3, 由液压泵输出的压力油经过节流阀 5、换向阀 6 进入液压缸 7 的左腔(或右腔), 液压缸的右腔(或左腔)的油液则经过换向阀后流回油箱, 工作台 9 随液压缸中的活塞 8 实现向右(或向左)移动, 当换向阀处于中位时, 工作台停止运动。工作台实现往复运动时, 其速度由节流阀 5 调节, 克服负载所需的工作压力则由溢流阀 4 控制。图 1.2 中(a)、(b)、(c)分别表示了换向阀处于三个工作位置时, 阀口 P、T、A、B 的接通情况。

由以上两例可得出液压传动的基本工作原理: 液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质, 而且传动中必须经过两次能量转换。

## 1.2 液压传动系统的组成

根据磨床工作台液压传动系统的工作原理可知, 液压传动是以液体为工作介质的, 一



个完整的液压传动系统还必须由动力元件、执行元件、控制元件、辅助元件几部分组成，见表 1-1。

表 1-1 液压传动系统组成

| 组成部分 | 功 用                           | 举 例            |
|------|-------------------------------|----------------|
| 动力元件 | 将机械能转换为液体的压力能                 | 液压泵            |
| 执行元件 | 将液体的压力能转化为机械能                 | 液压缸、液压马达       |
| 控制元件 | 控制流体的压力、流量和方向，保证执行元件完成预期的动作要求 | 方向阀、压力阀、流量阀等   |
| 辅助元件 | 起连接、贮油、过滤、测量等作用               | 油管、油箱、滤油器、压力表等 |

### 1.3 液压系统的图形符号

图 1.2 所示的液压传动系统工作原理图较直观、容易理解，但图形较复杂，难以绘制。在实际工作中，常用图形符号来绘制，如图 1.3 所示。图形符号不表示元件的具体结构，只表示元件的功能，使系统图简化，原理简单明了，便于阅读、分析、设计和绘制。

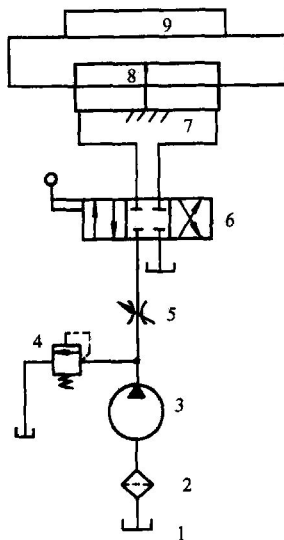


图 1.3 液压传动系统图形符号图

- 1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—溢流阀；5—节流阀；  
6—换向阀；7—液压缸；8—活塞；9—工作台

### 1.4 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动相比有以下主要优点。

- 液压传动的传递功率大，能输出大的力或力矩。即在同等功率下，液压装置的体积

小、重量轻、结构紧凑。

- 液压执行元件的速度可以实现无级调节，而且调速范围大。
- 液压传动工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。
- 液压装置易于实现过载保护，能实现自润滑，使用寿命长。
- 液压装置易于实现自动化的工作循环。
- 液压元件易于实现系列化、标准化和通用化，便于设计、制造和推广使用。液压传动也存在如下缺点。
- 由于液压传动中的泄漏和液体的可压缩性，使传动无法保证严格的传动比。
- 液压传动能量损失大，因此传动效率低。
- 液压传动对油温的变化比较敏感，不宜在较高或较低的温度下工作。
- 液压传动出现故障时不易找出原因。

## 习 题

### 一、填空题

1. 液压传动是利用\_\_\_\_\_中\_\_\_\_\_来传递运动和动力。
2. 液压传动系统除油液外可分为\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_、\_\_\_\_\_四个部分。
3. 液压传动具有传递功率\_\_\_\_\_，传动平稳性\_\_\_\_\_，能实现过载\_\_\_\_\_易于实现自动化等优点。但是有泄漏，容易\_\_\_\_\_环境，传动比不\_\_\_\_\_。

### 二、判断题

1. 液压传动装置实质上是一种能量转换装置。 ( )
2. 液压传动以流体为工作介质。 ( )
3. 液压传动可实现过载保护。 ( )
4. 液压系统中的动力元件是把机械能转化为压力能。 ( )

### 三、问答题

1. 什么是液压传动？
2. 液压传动系统由哪几部分组成？各组成部分的主要作用是什么？
3. 简述液压传动的主要优缺点。

# 第 2 章

## 液压流体力学基础

### 2.1 液压传动的工作介质

在液压系统中,使用的工作介质有石油基液压油、难燃型液压油、高水基液和水介质(海水、淡水)等,一般称为液压油。液压油的基本性质和合理选用对液压系统的工作状态影响很大。

#### 2.1.1 工作介质的主要性质

##### 1. 粘性

液体分子之间存在内聚力,液体在外力作用下流动时,液体分子间的相对运动导致内摩擦力的产生,液体流动时具有内摩擦力的性质被称为粘性。

液体粘性的大小用粘度来表示,粘度是液压油划分牌号的依据。譬如: N32 液压油,是指这种油在 40℃温度时的运动粘度平均值为 32mm<sup>2</sup>/s。

表 2-1 是常用液压油的新、旧粘度等级牌号的对照,旧标准是以 50℃的粘度值作为液压油的粘度值。

表 2-1 常用液压油的牌号和粘度

| ISO 3448—92<br>粘度等级 | 40℃时运动粘度/<br>(mm <sup>2</sup> /s) | 现牌号<br>(GB/T3141—94) | 过渡牌号<br>(1983—1990 年) | 旧牌号<br>(1982 年以前) |
|---------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------|
| ISO VG15            | 13.5~16.5                         | 15                   | N15                   | 10                |
| ISO VG22            | 19.8~24.2                         | 22                   | N22                   | 15                |
| ISO VG32            | 28.8~35.2                         | 32                   | N32                   | 20                |
| ISO VG46            | 41.4~50.6                         | 46                   | N46                   | 30                |
| ISO VG68            | 61.2~74.8                         | 68                   | N68                   | 40                |
| ISO VG100           | 90~110                            | 100                  | N100                  | 60                |

影响液体粘度的主要因素是温度和压力。

当液体所受的压力增加时,其分子间的距离将减小,于是内摩擦力将增加,即粘度也将随之增大,但由于一般在中、低压液压系统中压力变化很小,因而通常压力对粘度的影响忽略不计。

液压油粘度对温度的变化十分敏感，温度升高，粘度下降，液压油的粘度随温度变化的性质称为粘温特性。一般高温应选择粘度大的液压油，以减少泄漏；低温应选择粘度小的液压油，以减小摩擦。

## 2. 可压缩性

液体受压力后其容积发生变化的性质，称为液体的可压缩性。

一般中、低压液压系统，其液体的可压缩性很小。因而可以认为液体是不可压缩的。而在压力变化很大的高压系统中，就需要考虑液体可压缩性的影响。当液体中混入空气时，可压缩性将显著增加，并将严重影响液压系统的工作性能，因而在液压系统中应使油液中的空气含量减少到最低限度。

### 2.1.2 工作介质的选用

选用工作介质的种类，要考虑设备的性能、使用环境等综合因素。如一般机械可采用普通液压油；设备在高温环境下，就应选用抗燃性能好的介质；在高压、高速的工程机械上，可选用抗磨液压油；当要求低温时流动性好，则可用加了降凝剂的低凝液压油。液压油粘度的选用应充分考虑环境温度、工作压力、运动速度等要求，如温度高时选用高粘度油，温度低时选用低粘度油；压力愈高，选用的粘度愈高；执行元件的速度愈高，选用油液的粘度愈低。

在液压传动装置中，液压泵的工作条件最为恶劣，较简单实用的方法是按液压泵的要求确定液压油，见表 2-2。

表 2-2 液压泵用油粘度范围及推荐用油表

| 名 称                |    | 粘度范围/(mm <sup>2</sup> /s) |       | 工作压力/<br>MPa | 工作温度/<br>℃ | 推荐用油                          |       |      |
|--------------------|----|---------------------------|-------|--------------|------------|-------------------------------|-------|------|
|                    |    | 允许                        | 最佳    |              |            |                               |       |      |
| 叶片泵<br>(1200r/min) |    | 16~220                    | 26~54 | 7            | 5~40       | L-HM 液压油 32, 46, 68           |       |      |
| 叶片泵<br>(1800r/min) |    |                           |       |              | 7 以上       |                               | 40~80 |      |
|                    |    |                           |       |              |            |                               |       | 5~40 |
|                    |    |                           |       |              |            |                               | 40~80 |      |
| 齿轮泵                |    | 4~220                     | 25~54 | 12 以下        | 5~40       | L-HL 液压油 32, 46, 68           |       |      |
|                    |    |                           |       |              | 40~80      |                               |       |      |
|                    |    |                           |       | 12 以上        | 5~40       | L-HM 液压油 46, 68, 100, 150     |       |      |
|                    |    |                           |       |              | 40~80      |                               |       |      |
| 柱<br>塞<br>泵        | 径向 | 10~65                     | 16~48 | 14~35        | 5~40       | L-HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150 |       |      |
|                    |    |                           |       |              | 40~80      |                               |       |      |
|                    | 轴向 | 4~76                      | 16~47 | 35 以上        | 5~40       | L-HM 液压油 32, 46, 68, 100, 150 |       |      |
|                    |    |                           |       |              | 40~80      |                               |       |      |
| 螺杆泵                |    | 19~49                     |       | 10.5 以上      | 5~40       | L-HL 液压油 32, 46, 68           |       |      |
|                    |    |                           |       |              | 40~80      |                               |       |      |

注：液压油牌号 L-HM32 的含义是：L 表示润滑剂，H 表示液压油，M 表示抗磨型，粘度等级为 VG32。



### 2.1.3 工作介质的污染及控制

工作介质的污染对液压系统的可靠性影响很大, 液压系统运行中大部分故障是因为油液不清洁引起的。因此, 正确使用和防止液压油的污染尤为重要。

油液的污染, 是指油液中含有固体颗粒、水、微生物等杂物, 这些杂物的存在会导致以下问题。

- 固体颗粒和胶状生成物堵塞滤油器, 使液压泵吸油不畅、运转困难、产生噪声; 堵塞阀类元件的小孔或缝隙, 使阀类元件动作失灵。
- 微小固体颗粒会加速有相对滑动零件表面的磨损, 使液压元件不能正常工作; 同时还会划伤密封件, 使泄漏流量增加。
- 水分和空气的混入会降低液压油液的润滑性, 并加速其氧化变质, 产生气蚀, 使液压元件加速损坏; 使液压传动系统出现振动、爬行等现象。

控制油液的污染, 常采用以下措施。

- 减少外来的污染: 液压传动系统的管路和油箱等在装配前必须严格清洗, 用机械的方法除去残渣和表面氧化物, 然后进行酸洗。液压传动系统在组装后要进行全面清洗, 最好用系统工作时使用的油液清洗, 特别是液压伺服系统最好要经过几次清洗来保证清洁。油箱通气孔要加空气滤清器, 给油箱加油要用滤油装置, 对外露件应装防尘密封, 并经常检查, 定期更换。液压传动系统的维修、液压元件的更换、拆卸应在无尘区进行。
- 滤除系统产生的杂质: 应在系统的相应部位安装适当精度的过滤器, 并且要定期检查、清洗或更换滤芯。
- 控制液压油液的工作温度: 液压油液的工作温度过高会加速其氧化变质, 产生各种生成物, 缩短它的使用期限。
- 定期检查更换液压油液: 应根据液压设备使用说明书的要求和维护保养规程的有关规定, 定期检查更换液压油液。更换液压油液时要清洗油箱, 冲洗系统管道及液压元件。

## 2.2 液压传动的主要参数

液压传动中的主要参数是压力和流量, 了解这两大参数的概念、基本特性和应用, 有助于深入理解液压传动的基本工作原理和特性。

### 2.2.1 压力

#### 1. 压力的概念

液体在单位面积上所受的垂直力称为压力(在物理学中称为压强), 压力通常用  $p$  表示。若在液体的面积  $A$  上受均匀分布的作用力  $F$ , 则压力可表示为:

$$p = \frac{F}{A}$$

压力的国标单位为  $\text{N/m}^2$  (牛/米<sup>2</sup>), 即 Pa(帕); 工程上常用 MPa(兆帕)、bar(巴) 和  $\text{kgf/cm}^2$ , 它们的换算关系为:

$$1\text{MPa}=10\text{bar}=10^6\text{Pa}=10.2\text{kgf/cm}^2$$

## 2. 静压传递

据帕斯卡原理可知, 在密闭容器中的静止液体, 由外力作用在液面的压力能等值地传到液体内部的所有各点。

如图 2.1 所示,  $A_1$ 、 $A_2$  分别为液压缸 1 和 2 的活塞面积, 两缸用管道连通。大活塞缸 2 内的活塞上有重力  $W$ , 当给小活塞缸 1 的活塞上施加力  $F_1$  时, 液体中就产生了  $p = \frac{F_1}{A_1}$  的压力。随着  $F_1$  的增加, 液体的压力也不断增加, 当压力  $p = \frac{W}{A_2}$  时, 大活塞缸 2 的活塞开始运动。

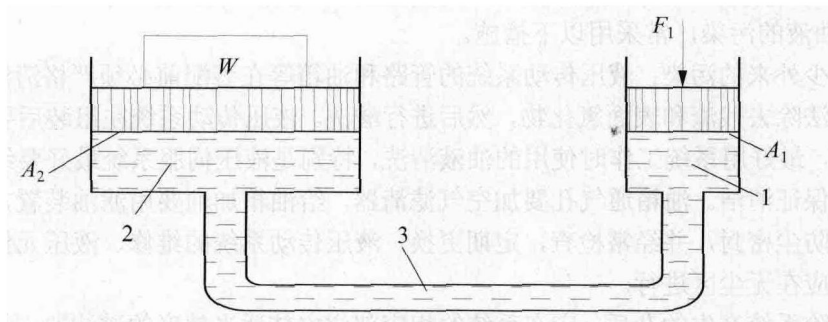


图 2.1 帕斯卡原理的应用

1—小活塞缸; 2—大活塞缸; 3—管道

可见, 静压力传动有以下特点。

- 传动必须在密封容器内进行。
- 系统内压力大小取决于外负载的大小。也就是说, 液体的压力是由于受到各种形式的阻力而形成的, 当外负载  $W=0$  时, 则  $p=0$ 。
- 液压传动可以将力放大, 力的放大倍数等于活塞面积之比, 即

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$

或

$$\frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1}$$

## 3. 静压力基本方程

静止液体内部受力情况可用图 2.2 来说明。设容器中装满液体, 在任意一点 A 处取一微小面积  $dA$ , 该点距液面深度为  $h$ , 距坐标原点高度为  $Z$ , 容器液平面距坐标原点为  $Z_0$ 。为了求得任意一点 A 的压力, 可取  $dA \cdot h$  这个液柱为分离体, 见图 2.2(b)。根据静压力的特性, 作用于这个液柱上的力在各方向都呈平衡, 现求各作用力在  $Z$  方向的平衡方程。微



小液柱顶面上的作用力为  $p_0 dA$  (方向向下), 液柱本身的重力  $G = \rho g h dA$  (方向向下), 液柱底面对液柱的作用力为  $p dA$  (方向向上), 则平衡方程为:

$$p dA = p_0 dA + \rho g h dA$$

故  $p = p_0 + \rho g h$ 。

分析上式可知:

(1) 静止液体中任一点的压力均由两部分组成, 即液面上的表面压力  $p_0$  和液体自重而引起的对该点的压力  $\rho g h$ 。

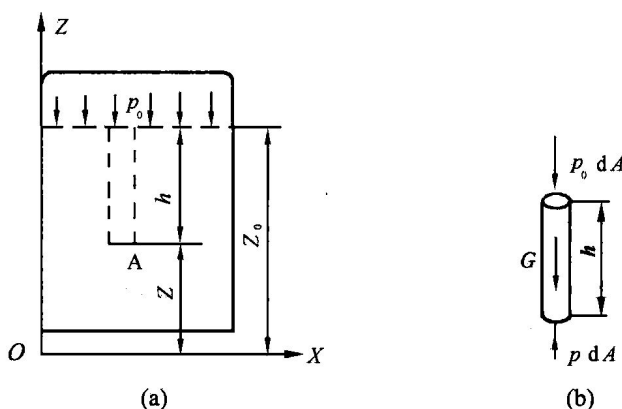


图 2.2 静止液体内压力分布规律

(2) 静止液体内的压力随液体距液面的深度变化呈线性规律分布, 且在同一深度上各点的压力相等, 压力相等的所有点组成的面为等压面, 很显然, 在重力作用下静止液体的等压面为一个平面。

(3) 可通过下述三种方式使液面产生压力  $p_0$ :

- 通过固体壁面(如活塞)使液面产生压力;
- 通过气体使液面产生压力;
- 通过不同质的液体使液面产生压力。

#### 4. 压力的表示方法

压力的表示方法有绝对压力和相对压力两种。

以绝对真空( $p=0$ )为基准, 所测得的压力为绝对压力; 以大气压  $p_a$  为基准, 测得的压力为相对压力。

若绝对压力大于大气压, 则相对压力为正值, 由于大多数测压仪表所测得的压力都是相对压力, 所以相对压力也称为表压力; 若绝对压力小于大气压, 则相对压力为负值, 比大气压小的那部分称为真空度。

图 2.3 清楚地给出了绝对压力、相对压力和真空度三者之间的关系。



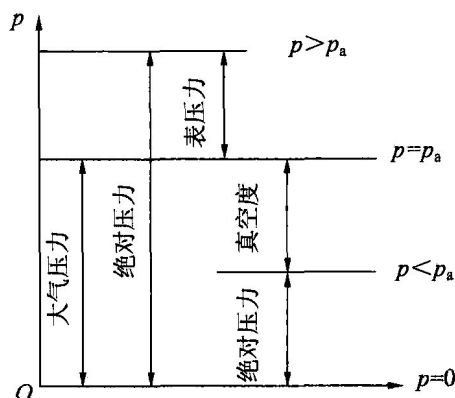


图 2.3 绝对压力、相对压力及真空度的关系

### 5. 液体作用在固体壁面上的力

液体流经管道和控制元件，并推动执行元件做功，都要和固体壁面接触。因此，需要计算液体对固体壁面的作用力。

当固体壁面为一平面时，流体对平面的作用力  $F$ ，等于流体的压力  $p$  乘以该平面的面积  $A$ ，即

$$F = pA$$

液体对曲面的作用力，如图 2.4 所示，曲面面积为  $A$ ，曲面上作用的压力为  $p$ ，则液体对固体壁面的作用力按以下方法计算。

- 求液体对固体壁面在某一向向上的分力，先求出曲面面积  $A$  投影到该方向垂直面上的面积  $A_i$ ，如图 2.5 所示的  $A_x$  和  $A_y$ ，然后用压力  $p$  乘以投影面积  $A_i$ ，即

$$F_i = pA_i$$

- 求出各方向的分力后，按力的合成求出合力。首先求出  $F_x$ 、 $F_y$  和  $F_z$ ，然后按下式计算出合力

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}$$

**【例 2-1】** 如图 2.5 所示的液压缸筒，已知缸筒半径为  $r$ ，最大工作压力为  $p$ ，试求压力油对缸筒右半壁内表面在  $x$  方向上的作用力  $F_x$ 。

解：取长度为  $L$ ，宽度为  $ds$  的一个微小面积  $dA$ ， $dA = Lds = Lr d\theta$ ，则压力油对  $dA$  的作用力  $dF = pdA$ ， $dF$  沿  $x$  方向的分力为：

$$dF_x = dF \cos \theta = prL \cos \theta d\theta$$

$$F_x = \int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} prL \cos \theta d\theta = prL \left[ \sin\left(\frac{\pi}{2}\right) - \sin\left(-\frac{\pi}{2}\right) \right] = 2prL$$

从该例题可以看出，液压力在  $x$  方向的作用力  $F_x$  等于油压力  $p$  与  $2rL$  的乘积，而  $2rL$  正好是缸筒右半壁在  $x$  方向上的投影面积。