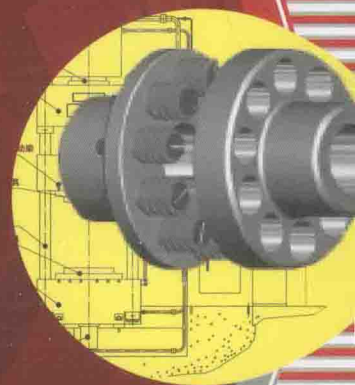
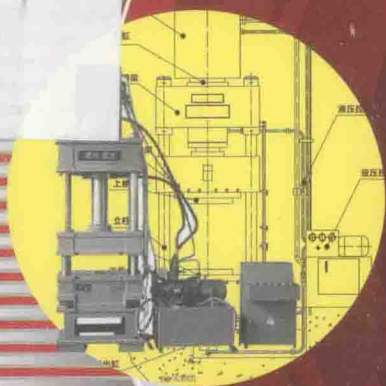
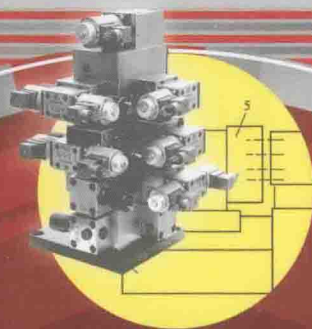


YEYA XITONG SHEJI  
SHILI JIAOCHENG

# 液压系统设计 实例教程

王晓晶 王昕 胡志栋 王洪艳 等编著

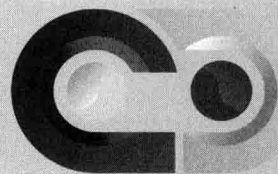


化学工业出版社

YEYA XITONG SHEJI  
SHILI JIAOCHENG

# 液压系统设计 实例教程

王晓晶 王昕 胡志栋 王洪艳 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

## 图书在版编目 (CIP) 数据

液压系统设计实例教程/王晓晶等编著. —北京: 化学工业出版社, 2014. 10

ISBN 978-7-122-21593-2

I. ①液… II. ①王… III. ①液压系统-系统设计-教材 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 183793 号

---

责任编辑: 贾 娜

文字编辑: 谢蓉蓉

责任校对: 吴 静

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 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司

装 订: 三河市宇新装订厂

787mm×1092mm 1/16 印张 16½ 字数 452 千字 2015 年 1 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: 69.00 元

版权所有 违者必究

# 前言

## FOREWORD

液压传动技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化等方面都取得了很大的进展。与此同时,由于液压传动技术与微电子技术密切配合,能在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以准确控制,从而更使得其在各行各业中发挥出了巨大作用。由于液压传动有许多突出的优点,因此被广泛地应用于航天航空、海洋开发、核能工程、地震预测、机械制造、石油化工、交通运输、军事器械、矿山冶金、航海、轻工、农机、渔业、林业等领域,为国民经济和社会生产力的发展发挥了不可磨灭的作用。

液压系统的合理设计是液压技术应用的关键,液压系统设计技术及方法的掌握也是机械电子工程专业学生培养的重要环节及基本要求,本书内容丰富,讲解透彻,所介绍的各种实例具有代表性,可供工程技术人员设计液压系统时参考和借鉴,本书也可作为高校相关专业师生的参考书和教材,书中各设计实例和设计方法及步骤能够成为很好的课程作业、课程设计和毕业设计的题目及指导书。

本书在介绍液压系统设计方法与步骤的基础上,立足于液压系统设计的实际应用,精选了10个典型液压系统设计实例,对其设计过程做了详细讲解,包括:钢筋切断机液压系统设计、抓取机械手液压系统设计、全自动钢管打捆机液压系统设计、组合机床动力滑台液压系统设计、并联式液压混合动力汽车传动系统设计、液压泵站设计与使用、卷取机卷筒液压系统设计、四轴卧式钻孔专用机床液压系统设计、小型液压机液压系统设计、250g塑料注射成型机液压系统设计。

本书由王晓晶、王昕、胡志栋、王洪艳等编著。其中,第1~4章由哈尔滨理工大学机械动力工程学院王晓晶和哈药集团制药六厂崔兆福共同编写,第5~7章和第11章由电子科技大学机械电子工程学院王洪艳编写,第8~10章由吉林大学机械科学与工程学院王昕编写,第12~14章由东北林业大学工程技术学院胡志栋编写。在本书的编写过程中,得到了哈尔滨理工大学机械动力工程学院韩桂华老师的大力支持和帮助。书稿整理过程中,哈尔滨理工大学机械电子工程专业硕士研究生冼昌富协助完成了查找资料、绘图以及文字处理等工作,同时,还得到了其他院系同事的支持与帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于作者水平所限,书中不足之处在所难免,敬请各位读者予以批评和指正。

编者

# 目录

## CONTENTS

### 第1章 绪论

1

- 1.1 液压传动系统的工作原理及组成 /2
  - 1.1.1 液压传动系统的工作原理 /2
  - 1.1.2 液压传动系统的组成 /3
  - 1.1.3 液压传动系统的图形符号 /3
- 1.2 液压传动的工作介质 /4
- 1.3 液压传动的特点 /4
- 1.4 液压传动的应用 /5

### 第2章 液压元件的选择

6

- 2.1 液压泵与液压马达 /6
  - 2.1.1 液压泵/马达的分类 /6
  - 2.1.2 主要参数及计算 /7
  - 2.1.3 液压泵/马达的结构特点及特性 /9
  - 2.1.4 齿轮泵和齿轮马达 /11
  - 2.1.5 叶片泵和叶片马达 /15
  - 2.1.6 柱塞泵和柱塞马达 /18
  - 2.1.7 螺杆泵 /22
- 2.2 液压缸 /23
  - 2.2.1 液压缸的分类和特点 /23
  - 2.2.2 液压缸的结构 /28
  - 2.2.3 液压缸的设计与计算 /33
  - 2.2.4 液压缸的校核 /33
- 2.3 液压控制元件 /34
  - 2.3.1 液压控制阀的分类 /34
  - 2.3.2 液压控制阀的性能参数 /35
  - 2.3.3 方向控制阀 /35
  - 2.3.4 压力控制阀 /44
  - 2.3.5 流量控制阀 /52
  - 2.3.6 比例阀、二通插装阀和数字阀 /55
- 2.4 液压辅助元件 /59
  - 2.4.1 液压蓄能器 /59
  - 2.4.2 滤油器 /61
  - 2.4.3 油箱 /64
  - 2.4.4 管件 /65

### 第3章 液压系统基本功能回路

68

- 3.1 压力控制回路 /68
- 3.2 速度控制回路 /74
  - 3.2.1 节流调速回路 /75
  - 3.2.2 调速阀式节流调速回路 /81
  - 3.2.3 容积式调整回路 /82
  - 3.2.4 容积节流式调速回路 /87
- 3.3 方向控制回路 /89
  - 3.3.1 换向回路 /89
  - 3.3.2 制动回路 /90
  - 3.3.3 锁紧回路和往复直线运动换向回路 /91
- 3.4 多执行元件动作回路 /92

3.4.1 顺序运动回路 /92

3.4.2 同步运动回路 /94

3.4.3 运动互不干扰回路 /95

## 第4章 液压系统设计方法及步骤

97

4.1 液压系统的设计方法 /97

4.1.1 经验设计方法 /97

4.1.2 计算机仿真设计方法 /97

4.1.3 优化设计方法 /97

4.2 液压传动系统的设计步骤 /98

4.3 明确设计要求、进行工况分析 /98

4.3.1 明确设计要求 /98

4.3.2 执行元件的工况分析 /99

4.4 执行元件主要参数的确定 /100

4.4.1 初选执行元件的工作压力 /100

4.4.2 确定执行元件的主要结构参数 /101

4.4.3 复算执行元件的工作压力 /101

4.4.4 执行元件的工况图 /102

4.5 液压传动系统原理图的拟定 /102

4.6 液压元件的计算和选择 /103

4.6.1 选择液压泵 /103

4.6.2 选择阀类元件 /104

4.6.3 选择液压辅助元件 /104

4.6.4 阀类元件配置形式的选择 /104

4.7 液压系统技术性能的验算 /105

4.7.1 系统压力损失的验算 /105

4.7.2 系统发热温升的验算 /106

4.8 绘制正式工作图和编制技术文件 /106

## 第5章 钢筋切断机液压系统设计

108

5.1 液压钢筋切断机的设计要求 /108

5.2 液压钢筋切断机基本方案的拟定 /108

5.2.1 液压钢筋切断机的基本组成 /108

5.2.2 液压执行组件控制回路拟定 /109

5.3 液压钢筋切断机主要参数的确定 /110

5.3.1 液压缸的载荷计算 /110

5.3.2 初选系统的工作压力 /110

5.3.3 液压缸主要结构尺寸的验算 /110

5.3.4 液压执行元件实际所需流量计算 /111

5.3.5 液压执行元件实际工作压力的计算 /111

5.4 液压系统原理图的设计 /112

5.5 液压元件的选择 /113

5.5.1 液压泵的选择 /113

5.5.2 电动机功率的确定 /114

5.5.3 液压阀的选择 /114

5.5.4 管路的选择 /115

5.5.5 油箱的确定 /116

5.6 液压缸及主要零部件的设计计算 /116

5.6.1 缸筒 /116

5.6.2 活塞 /117

5.6.3 活塞杆的导向套和密封 /117

5.6.4 最小导向长度的确定 /117

5.6.5 放气装置 /117

5.6.6 油口 /118

5.7 液压泵站的设计 /118

5.8 液压系统性能验算 /119

## 第6章 抓取机械手液压系统设计

120

6.1 液压抓取机械手的设计要求 /120

6.1.1 手部设计的基本要求 /120

- 6.1.2 臂部设计的基本要求 /120
- 6.2 手部及臂部液压驱动方案  
设计 /121
- 6.3 液压抓取机械手主要参数的  
确定 /122
- 6.3.1 手部结构设计 /122
- 6.3.2 手部夹紧缸的设计参数的  
确定 /123
- 6.3.3 臂部结构及其设计参数的  
确定 /124

- 6.4 液压系统原理图的设计 /127
- 6.5 液压元件的选择 /128
- 6.5.1 确定系统实际工作压力 /128
- 6.5.2 各液压缸流量的计算 /128
- 6.5.3 泵和电动机的选择 /129
- 6.5.4 选择液压控制阀和辅助  
元件 /129
- 6.6 电磁铁动作顺序表的编制 /130
- 6.7 液压系统性能验算 /130

## 第7章

### 全自动钢管打捆机液压系统设计

132

- 7.1 全自动液压钢管打捆机的设计  
要求 /132
- 7.2 全自动液压钢管打捆机总体方  
案设计 /132
- 7.2.1 方案综述 /132
- 7.2.2 总体方案设计 /132
- 7.3 全自动液压钢管打捆机主要参数  
的确定 /134
- 7.3.1 各液压缸尺寸计算 /134
- 7.3.2 打捆机负载流量计算 /134
- 7.4 液压系统原理图的设计 /137
- 7.5 液压元件的选择 /139
- 7.5.1 液压马达的选择 /139

- 7.5.2 泵的选择 /139
- 7.5.3 电机的选择 /139
- 7.5.4 阀元件的选择 /140
- 7.5.5 液压系统辅助元件的选择 /140
- 7.5.6 油箱的选择 /141
- 7.5.7 蓄能器的选择 /141
- 7.6 循环冷却系统的设计计算 /142
- 7.6.1 相关参数计算 /142
- 7.6.2 动力源螺杆泵的选取 /142
- 7.6.3 热交换器的选取 /142
- 7.6.4 加热器 /143
- 7.7 液压系统性能验算 /144

## 第8章

### 组合机床动力滑台液压系统设计

145

- 8.1 组合机床动力滑台液压系统的设计  
要求 /145
- 8.1.1 组合机床组成及工作原理 /145
- 8.1.2 组合机床动力滑台的工作  
要求 /145
- 8.1.3 本设计实例的设计参数和技术  
要求 /146
- 8.2 工况分析 /147
- 8.2.1 确定执行元件 /147
- 8.2.2 动力分析 /147
- 8.2.3 运动分析 /149
- 8.2.4 负载循环图和速度循环图的  
绘制 /150

- 8.3 初步确定液压系统方案和主要参  
数计算 /150
- 8.3.1 初选液压缸工作压力 /150
- 8.3.2 确定液压缸的主要尺寸 /150
- 8.3.3 计算最大流量 /151
- 8.4 拟定液压系统原理图 /152
- 8.4.1 速度控制回路的选择 /152
- 8.4.2 换向和速度换接回路的  
选择 /152
- 8.4.3 油源的选择和能耗控制 /153
- 8.4.4 压力控制回路的选择 /154
- 8.5 液压元件的选择 /155
- 8.5.1 确定液压泵和电动机规格 /155

- 8.5.2 阀类元件和辅助元件的选择 /156
- 8.5.3 油管的选择 /157
- 8.5.4 油箱的设计 /158
- 8.6 验算液压系统性能 /159

- 8.6.1 压力损失验算及液压阀调整值的确定 /159
- 8.6.2 油液温度验算 /161
- 8.7 设计经验总结 /161

## 第9章

## 并联式液压混合动力汽车传动系统设计

162

- 9.1 并联式液压混合动力汽车的设计要求 /162
  - 9.1.1 并联式液压混合动力汽车的工作原理 /162
  - 9.1.2 并联式液压混合动力汽车传动系统要求 /163
  - 9.1.3 本实例的设计参数和技术要求 /163
- 9.2 工况分析 /163
- 9.3 液压系统方案设计和主要参数计算 /164
  - 9.3.1 系统原理设计 /164
  - 9.3.2 控制流程设计 /165
  - 9.3.3 主要参数计算 /166
- 9.4 主要元组件的选择、设计 /169
  - 9.4.1 液压元组件 /169
  - 9.4.2 电控组件 /172
  - 9.4.3 机械组件 /174
- 9.5 控制策略设计 /175
- 9.6 整车系统调试 /180
- 9.7 并联式液压混合动力汽车节能效果简单估算 /180

## 第10章

## 液压泵站设计与使用

181

- 10.1 液压泵站设计概述 /181
  - 10.1.1 液压泵站设计的目的和意义 /181
  - 10.1.2 液压泵站的组成及分类 /181
  - 10.1.3 设计要求 /184
- 10.2 液压泵站设计 /184
  - 10.2.1 动力元件的选择 /185
  - 10.2.2 液压泵选择 /185
  - 10.2.3 油箱及其设计 /185
- 10.3 液压泵组的结构设计 /199
  - 10.3.1 液压泵组的连接和安装方式 /200
  - 10.3.2 液压泵组的传动底座 /201
  - 10.3.3 防振降噪措施 /201
  - 10.3.4 绘制液压泵组工作图 /201
- 10.4 蓄能器装置设计 /204

## 第11章

## 卷取机卷筒液压系统设计

208

- 11.1 卷取机工作原理及设计要求 /208
  - 11.1.1 工作原理 /208
  - 11.1.2 设计要求 /209
- 11.2 设计计算 /209
  - 11.2.1 工况分析 /209
  - 11.2.2 液压缸的设计计算 /210
  - 11.2.3 液压缸的功率计算 /210
  - 11.2.4 液压泵的选择与计算 /211
  - 11.2.5 电动机的选择 /212
  - 11.2.6 联轴器的选择 /212
  - 11.2.7 液压控制元件的选择 /212
  - 11.2.8 辅助元件的选择计算 /216
- 11.3 液压系统性能校核 /222
  - 11.3.1 压力损失校核 /222
  - 11.3.2 温升的验算 /222



- |                     |                        |
|---------------------|------------------------|
| 12.1 工况分析 /225      | 12.4 验算液压系统主要技术性能 /231 |
| 12.2 拟定液压系统原理图 /226 |                        |
| 12.3 液压元件的选择 /228   |                        |

- |                   |                      |
|-------------------|----------------------|
| 13.1 技术分析 /235    | 13.5 液压缸主要参数的确定 /237 |
| 13.2 方案的确定 /236   | 13.6 液压系统图 /239      |
| 13.3 工况分析 /236    | 13.7 液压元件的选择 /240    |
| 13.4 负载图和速度图 /237 | 13.8 液压系统性能的运算 /240  |

- |                         |                        |
|-------------------------|------------------------|
| 14.1 设计要求及设计参数 /244     | 14.5 拟定液压系统原理图 /248    |
| 14.2 选择液压执行元件 /245      | 14.6 选择和设计液压元件 /249    |
| 14.3 液压执行元件工况分析与计算 /245 | 14.7 性能验算 /251         |
| 14.4 确定液压系统主要参数 /245    | 14.7.1 验算回路中的压力损失 /251 |
|                         | 14.7.2 液压系统发热温升计算 /252 |

# 第 1 章

## 绪论

一部完整的机器主要是由动力装置、传动装置、控制调节装置和工作装置四部分组成。传动装置只是一个中间环节，其作用是把动力装置（电动机、内燃机等）的输出功率传送给工作装置。传动有多种类型，如机械传动（齿轮、轴、曲轴等）、电力传动（感应电动机、直线电动机、转矩电动机等）、液体传动、气体传动以及它们的组合——复合传动等。

用液体作为工作介质来进行能量传递的传动方式称为液体传动。按照其工作原理的不同，液体传动可分为液压传动和液力传动。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量；而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。液压传动又可称为容积式液压传动。由于液压传动有许多突出的优点，因此它被广泛地应用于机械制造、工程机械、建筑机械、石油化工、交通运输、军事器械、矿山冶金、航海、轻工、农机、渔业、林业等各方面。同时，它也被应用到航天航空、海洋开发、核能工程、地震预测等各个技术领域。

液压传动相对于机械传动来说是一门新学科，但相对于计算机等，它又是一门较老的技术。如果从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传动原理，18 世纪末英国造出第一台水压机算起，液压传动已有两三百年的历史。只是由于在早期没有成熟的液压传动技术和液压元件，而使它没有得到普遍的应用。随着科学技术的不断发展，各行各业对传动技术都有了不同的需求，特别是第二次世界大战后，以军用液压传动技术作为基础，通过不断的改进和创新，并根据具体需要进行各种研究和降低成本等，液压传动才得到广泛应用。

由于液压技术广泛应用了自动控制技术、计算机技术、微电子技术、摩擦磨损技术、可靠性技术及新工艺和新材料等高新技术成果，使液压系统和元件的质量、可靠性和寿命得到快速的提高。今后，液压技术将向高性能、高质量、高可靠性、系统成套性、低能耗、低噪声、低振动、无泄漏以及污染控制、应用水基介质等适应环保要求的方向发展；液压器件积极采用新工艺、新材料和电子、传感等高新技术，开发出高集成化、高功率密度、智能化、机电一体化以及轻型、小型和微型液压元件。执行元件向种类多、结构紧凑、定位精度高的方向发展；液压元件与电子技术相结合，向智能化、高速、高频、高响应、高寿命方向发展。

尽管液压工业已经取得了很大的进步，但与世界先进水平相比，应该清醒地看到国内的液压工业尚有不少差距，主要体现在科技研发能力、技术性能、产品种类数量、质量稳定性、应用可靠性、专业程度、生产规模、市场占有率、噪声和经济效益等方面。但应该相信处在高速发展期的中国液压工业会客观地调整战略发展方针，全力缩短与世界先进水平的差距。

## 1.1 液压传动系统的工作原理及组成

### 1.1.1 液压传动系统的工作原理

图 1-1 所示是一台驱动机床工作台运动的液压传动系统。这个系统可使工作装置作直线往复运动、克服阻力和调节工作台的运动速度。以它为例来了解一般液压传动系统的工作原理和基本组成。

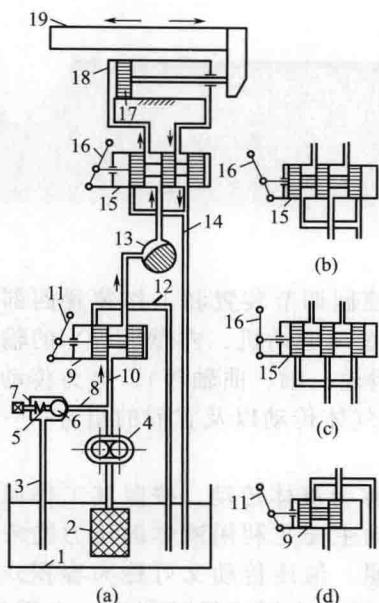


图 1-1 机床工作台液压传动系统的工作原理图

1—油箱；2—过滤器；3,12,14—回油管；  
4—液压泵；5—弹簧；6—钢球；7—溢流阀；  
8—压力支管；9—开停阀；10—压力管；  
11—开停手柄；13—节流阀；15—换向阀；  
16—换向手柄；17—活塞；  
18—液压缸；19—工作台

在图 1-1(a) 中，液压泵 4 由电动机驱动旋转，从油箱 1 中吸油。油液经过滤器 2 进入液压泵 4，液压泵输出的压力油经压力管 10、开停阀 9、节流阀 13、换向阀 15 进入液压缸 18 左腔，推动活塞 17 和工作台 19 向右移动。这时，液压缸 18 右腔的油液可经换向阀 15 和回油管 14 排回油箱。

如果将换向手柄 16 转换成图 1-1(b) 所示的状态，则液压泵 4 输出的油液将经过开停阀 9、节流阀 13 和换向阀 15 进入液压缸 18 右腔，对活塞 17 产生推力。与此同时，液压缸 18 右腔的油液可经换向阀 15 和回油管 14 排回开式油箱。这样，开停阀 9 的阀芯有两个（左、右）工作位置，换向阀 15 的阀芯有三个（左、中、右）工作位置。

工作台 19 的运动速度是由节流阀 13 来调节的。当节流阀口开大时，单位时间内进入液压缸 18 的油液增多，工作台的运动速度增大；当节流阀口关小时，工作台的运动速度减小。

为了克服移动工作台所受到的各种阻力，液压缸必须能够产生一个足够大的推力，这个推力是由液压缸中的油液压力产生的。要克服的阻力越大，液压缸中的油液压力越高；反之压力就越低。为了使液压缸中的油液能克服负载的阻力，液压泵的工作

压力必须高于液压缸中油液的压力。因此要调节液压泵的工作压力。单位时间内输入液压缸油液的多少是通过节流阀 13 调节的，定量液压泵 4 输出的多余油液须经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱，这只有在压力支管 8 中的油液压力对溢流阀钢球 6 的作用力等于或略大于溢流阀中弹簧 5 的预紧力时，油液才能顶开溢流阀中的钢球流回油箱。所以，在图 1-1 所示的液压传动系统中，液压泵出口处的油液压力是由溢流阀决定的，调节溢流阀 7 中弹簧 5 的预压缩量，就可以调节液压泵的工作压力。过滤器 2 用来滤去油液中的杂质，保护液压泵 4 及液压传动系统。

如果将换向手柄 16 转换成图 1-1(c) 所示的位置，液压泵 4 输出的油液全部经溢流阀 7 和回油管 3 排回油箱，不输送到液压缸中去，这时工作台停止运动，而系统保持溢流阀调定的压力。

如果将开停手柄 11 转换成图 1-1(d) 所示的位置，液压泵 4 输出的油液将经开停阀 9 和回油管 12 排回油箱，这时工作台就停止运动，而液压传动系统卸荷。

从上面的例子可以看出：

- ① 液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的；
- ② 液压传动是以液体在密封容腔（泵的出口到液压缸）内所形成的压力能来传递动力和运动的；

③ 液压传动中的工作介质是在受控制、受调节的状态下进行工作的。

液压传动系统中的能量转换和传递情况如图 1-2 所示, 这种能量的转换能够满足生产中的需要。

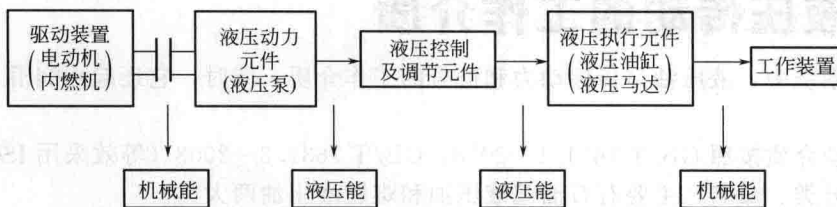


图 1-2 液压传动系统中的能量传递和转换

### 1.1.2 液压传动系统的组成

从液压传动系统的工作原理（图 1-1）和液压传动系统中的能量转换（图 1-2）可以看出, 液压传动系统由以下五部分组成。

① 液压动力元件 液压动力元件是指液压泵, 它是将动力装置的机械能转换成为液压能的装置, 其作用是为液压传动系统提供压力油, 是液压传动系统的动力源。

② 液压执行元件 液压执行元件是指液压缸或液压马达, 它是将液压能转换为机械能的装置, 其作用是在压力油的推动下输出力和速度或转矩和转速, 以驱动工作装置做功。

③ 液压控制调节元件 它包括各种液压阀类元件, 其作用是用来控制液压传动系统中油液的流动方向、压力和流量, 以保证液压执行元件和工作装置完成指定工作。

④ 液压辅助元件 液压辅助元件如油箱、油管、滤油器等, 它们对保证液压传动系统正常工作有着重要的作用。

⑤ 液压工作介质 工作介质是指传动液体, 通常被称为液压油或液压油。

### 1.1.3 液压传动系统的图形符号

图 1-1 中组成液压传动系统的各个元件是用半结构式图形绘制出来的。这种图形直观性强, 容易理解, 但绘制起来比较麻烦, 特别是在液压传动系统中的液压元件比较多时更是如此。所以, 在工程实际中, 除某些特殊情况外, 一般都是用简单的图形符号来绘制液压传动系统工作原理图。对图 1-1 所示的液压传动系统, 其系统工作原理图如果用国家标准 GB/T 786.1—2009 所规定的液压图形符号绘制时, 绘制结果如图 1-3 所示。在这里, 图中的符号只表示元(辅)件的功能、操作(控制)方法及外部连接口, 不表示元(辅)件的具体结构和参数, 也不表示连接口的实际位置和元(辅)件的安装位置。在绘制液压元件的图形符号时, 除非特别说明, 图中所示状态均表示元(辅)件的静止位置或零位置, 并且除特别注明的符号或有方向性的元(辅)件符号外, 它们在图中可根据具体情况水平或垂直绘制。使用这些图形符号后, 可使液压传动系统图简单明了, 便于绘制。

当有些液压元件无法用图形符号表达或在国家标准中未列入时, 可根据标准中规定的符号绘制规则和所给出的符号进行派生。当无法用标准直接引用或派生时, 或有必要特别说明系

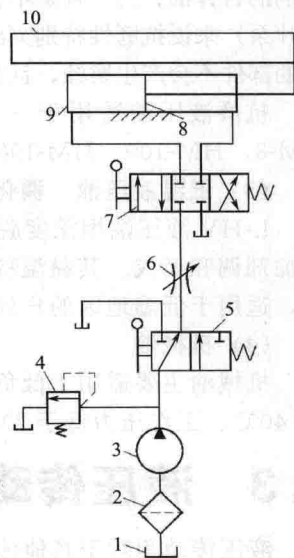


图 1-3 用图形符号绘制的机床工作台液压传动系统原理图

1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵; 4—溢流阀; 5—开停阀; 6—节流阀; 7—换向阀; 8—活塞; 9—液压缸; 10—工作台

统中某一元（辅）件的结构和工作原理时，可采用局部结构简图或采用它们的结构或半结构示意图表示。在用图形符号来绘制液压传动系统工作原理时，符号的大小应以清晰美观为原则，绘制时可根据图纸幅面的大小酌情处理，但应保持图形本身的适当比例。

## 1.2 液压传动的工作介质

在液压系统中，液压油是传递动力和信号的工作介质，同时，它还起到润滑、冷却和防锈的作用。

液压传动介质按照 GB/T 7631.1—2008、GB/T 7631.2—2003（等效采用 ISO 6743-4—1999）进行分类、命名，主要有石油基液压油和难燃液压油两大类。

石油基液压油可分为普通液压油、液压-导轨油、抗磨液压油、低温液压油、高黏度指数液压油、机械油、汽轮机油和其他专用液压油。难燃液压油可分为合成型、油水乳化型和高水基型。本节主要介绍各类机械设备液压系统通常采用的石油基液压油。

### （1）普通液压油（L-HL 液压油）

普通液压油采用精制矿物油做基础油，加入抗氧、抗腐、抗泡、防锈等添加剂调合而成，是当前我国供需量最大的主品种，用于一般液压系统，但只适于 0℃ 以上的工作环境。其牌号有 HL-32、HL-46、HL-68 等。

在代号 L-HL32 中，前一个 L 代表润滑剂类，H 为该 L 类产品所属的组别，表示应用场合为液压系统（以下的代号中含义相同），后一个 L 代表防锈、抗氧化型，数字 32 表示该液压油在 40℃ 时的运动黏度的厘斯数  $[1\text{cSt}(\text{厘斯})=10^{-6}\text{m}^2/\text{s}]$ 。

### （2）抗磨液压油（L-HM 液压油）

抗磨液压油的配制较复杂，除加防锈、抗氧剂外，还需添加抗磨剂、金属钝化剂、破乳化剂和抗泡沫添加剂等。从抗磨剂的组成来看，抗磨液压油分为两种：一种是以二烷基二硫代磷锌为主剂的含锌油；另一种是不含金属盐（简称无灰型）的油。含锌抗磨液压油，对钢-钢摩擦副（如叶片泵）来说抗磨性特别突出，而对含有银和铜的部件有腐蚀作用。无灰抗磨液压油对含有银和铜的部件不会产生腐蚀，且在水解安定性、破乳化及氧化安定性方面好于含锌抗磨液压油。

抗磨液压油适用于 -15℃ 以上的高压、高速液压系统。其牌号有 HM-32、HM-46、HM-8、HM-100、HM-150，其中 M 代表抗磨型。

### （3）低温液压油、稠化液压油和高黏度指数液压油（L-HV 液压油）

L-HV 液压油用深度脱蜡的精制矿物油，加入抗氧、抗腐、抗泡、防锈、降凝和增黏等添加剂调和而成。其黏温特性好，有较好的润滑性，以保证不发生低速爬行和低速不稳定现象，适用于低温地区的户外高压系统。

### （4）机械油

机械油主要适用于低负荷机械部件的润滑，可做液压系统的代用油，适用于环境温度为 0~40℃、工作压力低于 7MPa 的液压传动系统。

## 1.3 液压传动的特点

液压传动相对于其他传动有以下主要优点。

① 在同等体积下，液压装置能产生出更大的动力，也就是说，在同等功率下，液压装置的体积小、质量小、结构紧凑，即它具有大的功率密度或力密度。

② 液压装置容易做到对执行元件速度的无级调节，而且调速范围大，并且对速度的调节还可以在工作过程中进行。

③ 液压装置工作平稳，换向冲击小，便于实现频繁换向。

④ 液压装置易于实现过载保护，能实现自润滑，使用寿命长。

⑤ 液压装置易于实现自动化，可以很方便地对液体的流动方向、压力和流量进行调节和控制，并能很容易地和电气、电子控制或气动控制结合起来，实现复杂的运动和操作。

⑥ 液压元件易于实现标准化、系列化和通用化。液压装置便于设计、制造和推广使用。液压传动还存在以下明显的缺点。

① 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使其无法保证严格的传动比。

② 液压传动有较多的能量损失（泄漏损失、摩擦损失等），因此，传动效率相对较低。

③ 液压传动装置的工作性能对油温的变化比较敏感，不宜在较高或较低的温度下工作。

④ 液压传动在出现故障时不易找出原因。

⑤ 液压元件的制造和维护要求较高，价格也较贵。

由于液压传动有其突出的优点，目前在国内外机械设备上仍得到了广泛的应用。从挖掘机、装载机、机床、航运船舶、航空飞行器、民用娱乐装置、戏剧舞台等都采用了液压传动。这些机械装置采用液压传动后，普遍比原来同规格的机械传动产品减小了外形尺寸，减轻了质量，提高了产品性能。由于采用了各种液压助力装置使操作大大简化、轻巧和灵便；大大提高了作业效率、作业质量和运行安全保障。尤其是近年来，微电子技术 在流体技术上的应用，使各类机械装置的综合自动化水平越来越高，提升了机械设备的使用可靠性、操作安全性、舒适性和使用寿命。

总之，流体传动的优点是主要的，随着设计制造和使用水平的不断提高，有些缺点正在逐步加以克服，液压传动将会有更广泛的应用发展前景。

## 1.4 液压传动的应用

液压传动的主要应用如下。

① 一般工业机械 包括塑料加工机械（注塑机）、压力机械（锻压机）、重型机械（废钢压块机）、机床（全自动六角车床、平面磨床）等。

② 行走机械 包括工程机械（挖掘机）、起重机械（汽车吊）、建筑机械（打桩机）、农业机械（联合收割机）、汽车（转向器、减振器）等。

③ 钢铁工业机械 包括冶金机械（轧辊调整装置）、提升装置（电极升降机）、薄板轧机等。

④ 土木工程机械 包括防洪闸门及堤坝装置（浪潮防护挡板）、河床升降装置、桥梁操纵机构和矿山机械（凿岩机）等。

⑤ 发电设备 包括涡轮机（调速装置）等。

⑥ 特殊装备 包括巨型天线控制装置、测量浮标、飞机起落架的收放装置及方向舵控制装置、升降旋转舞台等。

⑦ 船舶装备 包括甲板起重机械（绞车）、船头门、舱壁阀、船尾推进器等。

⑧ 军事装备 包括火炮操纵装置、舰船减摇装置、飞行器仿真装置等。

上述的概略说明还不能包括所有应用的可能性。用液压传动系统传递动力、运动和控制的应用范围相当广泛，它在当今的各个领域中 都占有一席之地。目前，液压传动技术在实现高压、高速、大功率、高效率、低噪声、长寿命、高度集成化等方面都取得了很大的进展。与此同时，由于其与微电子技术密切配合，能在尽可能小的空间内传递出尽可能大的功率并加以准确地控制，从而更使得其在各行各业中发挥出了巨大作用。

## 第 2 章

# 液压元件的选择

## 2.1 液压泵与液压马达

液压泵和液压马达是液压传动系统中的重要元件，液压泵的作用是将机械能转化为液压能，为液压系统提供动力（液压系统所需的流量和压力），液压马达的作用是将液压能转化为机械能来驱动负载。液压泵根据工作腔的容积变化而实现吸油和排油，液压泵/马达每转一周排出的液体体积称为液压泵/马达的排量，理论上液压泵/马达的排量只取决于其变化容腔的几何尺寸。对于定排量液压泵/马达，其排量恒定；对于变排量液压泵/马达，其排量和变量机构的控制和调节有关。如果不考虑泄漏及液体的可压缩性，定排量液压泵/马达的流量仅取决于液压泵/马达的转速，与工作压力无关。液压泵/马达的实际工作压力取决于实际负载。而其额定工作压力与液压泵/马达的结构形式有关，取决于液压泵/马达的零件强度和在高压下的泄漏情况。

液压传动系统对液压泵/马达的基本要求是：结构简单、体积小、重量轻、维护方便、价格低廉、使用寿命长；摩擦损失小、泄漏小、发热小、效率高；对油液污染不敏感；自吸能力大；输出流量脉动小、运转平稳、噪声小。

### 2.1.1 液压泵/马达的分类

液压泵的分类有多种形式，按单位时间内输出油液的体积能否变化分为定量泵和变量泵；根据结构和原理的不同，液压泵通常可分为齿轮泵、叶片泵、柱塞泵等；齿轮泵分为内啮合齿轮泵、外啮合齿轮泵和圆弧齿轮泵；叶片泵分为单作用式叶片泵和双作用式叶片泵；柱塞泵分为径向柱塞泵和轴向柱塞泵，如图 2-1 所示。

液压马达按其结构类型来分也可分为齿轮式、叶片式、柱塞式和其他形式。按其额定转速分为高速和低速两大类，额定转速高于 500r/min 的属于高速液压马达，额定转速低于 500r/min 的属于低速液压马达。液压马达的具体分类如图 2-2 所示。

高速液压马达的基本形式有齿轮式、螺杆式、叶片式和柱塞式等。它们的主要特点是转速较高、转动惯量小，便于启动和制动，调速和换向的灵敏度高。通常高速液压马达的输出转矩不大（仅几十牛·米到几百牛·米），所以又称为高速小转矩液压马达。

低速液压马达的主要特点是排量大、体积大、转速低（有时可达每分钟几转甚至零点几转），因此可直接与工作机构连接，不需要减速装置，使传动机构大为简化。通常低速液压马达输出转矩较大（可达几千牛·米到几万牛·米），所以又称为低速大转矩液压马达，低速液压马达的基本形式有叶片式、柱塞式等。

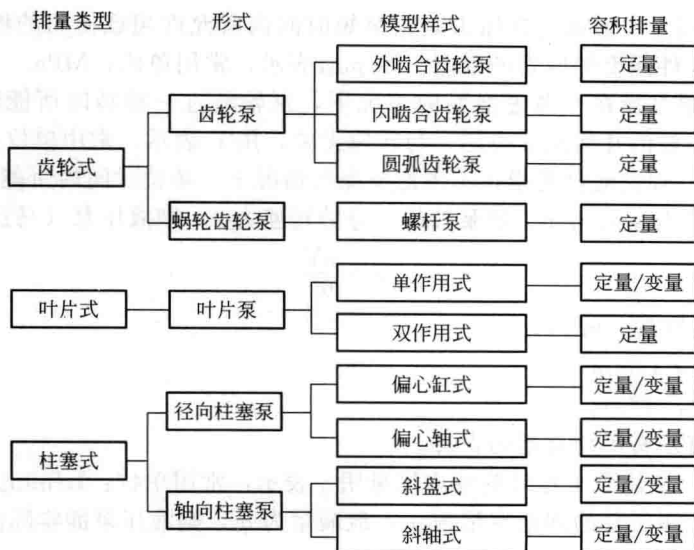


图 2-1 液压泵分类

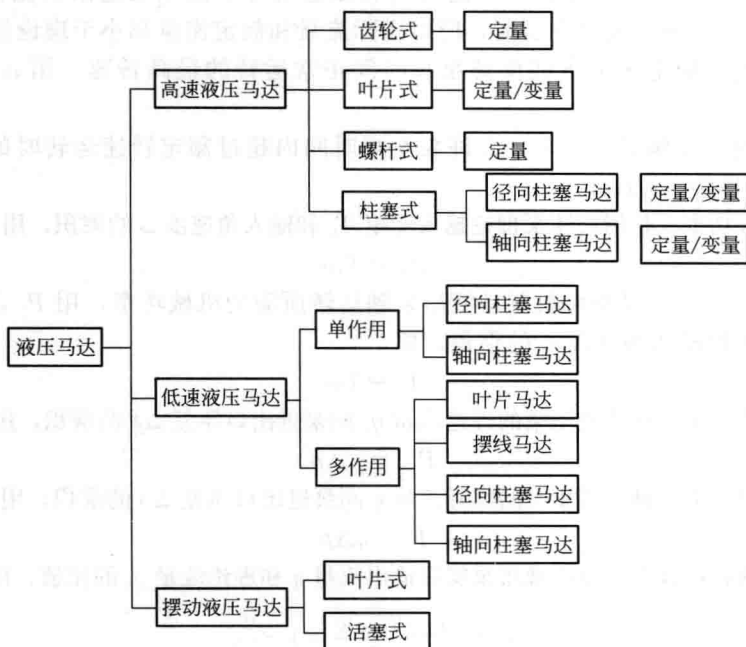


图 2-2 液压马达的分类

## 2.1.2 主要参数及计算

### (1) 液压泵参数

液压泵的性能参数是指液压泵的压力、排量和流量、功率和效率等。

① 工作压力 液压泵的工作压力是指它在实际工作时的输出压力，即泵出油口处的压力值，也就是液压油为了克服阻力所必须建立起来的压力，由其外加负载决定。用  $p$  表示，常用单位：MPa。

② 额定压力 额定压力是指在保证液压泵的容积效率、使用寿命和额定转速的前提下，泵连续长期运转时允许使用的最大工作压力，超过此值就是过载。用  $p_n$  表示，常用单位：MPa。



③ 最高允许压力 最高允许压力是指泵短时间内所允许超载使用的极限压力, 它受泵本身密封性能和零件强度等因素的限制。用  $p_{\max}$  表示, 常用单位: MPa。

④ 排量 排量是指在不考虑泄漏的情况下, 泵轴转过一整转时所能输出的油液体积。具体值由密封工作腔的几何尺寸决定, 与转速无关, 用  $V$  表示, 常用单位: mL/r。

⑤ 理论流量 理论流量是指在不考虑泄漏的情况下, 单位时间内所能输出的油液体积。用  $q_t$  表示, 常用单位: L/min。如泵轴的每分钟转速为  $n$ , 则液压泵 (马达) 的理论流量为

$$q_t = \frac{nV}{60} \quad (2-1)$$

式中  $q_t$ ——理论流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$n$ ——转速,  $\text{r}/\text{min}$ ;

$V$ ——排量,  $\text{m}^3/\text{r}$ 。

此处, 理论流量有平均流量的含义。

⑥ 实际流量 液压泵工作时的输出流量用  $q$  表示, 常用单位: L/min。计算实际流量必须考虑泄漏量。如液压泵的理论流量为  $q_t$ , 泄漏量为  $q_l$ , 则液压泵的实际流量为

$$q = q_t - q_l \quad (2-2)$$

⑦ 额定流量 额定流量是指在额定转速和额定压力下液压泵输出的流量。用  $q_n$  表示, 常用单位: L/min。由于泵存在泄漏, 所以实际流量和额定流量都小于理论流量。

⑧ 额定转速 额定压力下能保证泵长时间正常运转的最高转速。用  $n_n$  表示, 常用单位:  $\text{r}/\text{min}$ 。

⑨ 最高转速 在额定压力下, 允许泵在短时间内超过额定转速运转时的最高转速。用  $n_{\max}$  表示, 常用单位:  $\text{r}/\text{min}$ 。

⑩ 理论输入功率 是指液压泵理论输入转矩  $T_t$  和输入角速度  $\omega$  的乘积, 用  $P_{is}$  表示, 即

$$P_{is} = T_t \omega \quad (2-3)$$

⑪ 实际输入功率 是指电机驱动液压泵轴运转所需的机械功率, 用  $P_i$  表示, 为液压泵实际输入转矩  $T$  同输入角速度  $\omega$  的乘积, 即

$$P_i = T \omega \quad (2-4)$$

⑫ 理论输出功率 是指液压泵的理论流量  $q_t$  同泵进出口压差  $\Delta p$  的乘积, 用  $P_{os}$  表示, 即

$$P_{os} = q_t \Delta p \quad (2-5)$$

⑬ 实际输出功率 是指液压泵的实际流量  $q$  同泵进出口压差  $\Delta p$  的乘积, 用  $P_o$  表示, 即

$$P_o = q \Delta p \quad (2-6)$$

⑭ 液压泵的容积效率 是指液压泵实际输出流量  $q$  和理论流量  $q_t$  的比值, 用  $\eta_v$  表示, 即

$$\eta_v = \frac{q}{q_t} = \frac{q_t - q_l}{q_t} = 1 - \frac{q_l}{q_t} \quad (2-7)$$

⑮ 液压泵的机械效率 是指液压泵理论转矩  $T_t$  和实际输入转矩  $T$  的比值, 用  $\eta_m$  表示, 即

$$\eta_m = \frac{T_t}{T} \quad (2-8)$$

⑯ 液压泵总效率 是指液压泵实际输出功率  $P_o$  和实际输入功率  $P_i$  的比值, 用  $\eta$  表示, 即

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} = \eta_m \eta_v \quad (2-9)$$

## (2) 液压马达参数

液压马达和液压泵在结构上基本相同, 但在工作原理上是互逆的, 液压马达的性能参数也是指压力、流量和排量、功率和效率等, 但存在一定的区别。

① 工作压力 (工作压差) 液压马达入口油液的实际压力称为马达的工作压力。马达入