

全国高等水产院校试用教材

# 液 压 传 动

厦门水产学院 主编

渔 业 机 械 专 业 用

农 业 出 版 社

编者 庄建基  
审校 何存兴

全国高等水产院校试用教材

液 压 传 动

厦门水产学院 主编

责任编辑 范崇权

农业出版社出版（北京朝内大街130号）

新华书店北京发行所发行 通县向阳印刷厂印刷

787×1092毫米16开本 28.5印张 689千字

1988年10月第1版 1988年10月北京第1次印刷

印数 1—5,500册 定价 5.60 元

ISBN 7-109-00115-6/TH·6

## 前 言

为了适应四个现代化建设的需要,加速培养渔业液压传动专业人材,根据农牧渔业部对渔业机械设计与制造、动力装置和轮机管理等专业的培养目标和参照有关《液压传动》教学大纲,结合多年来的教学实践,并吸收了国内外有关资料编写本教材。

本书在内容取材和安排上力求理论与实际相结合,学以致用原则。编写以当前渔业机械设计以选型总体设计为主,结合国内实际情况,以静态为主,概括液压系统共同性的问题,尽力讲清基本概念、基本理论,着眼于提高读者选用液压元件和分析、设计液压系统的能力,为此,加强了液压基本回路这一章。

本书由三大部分组成:一、液压力学;二、液压元件,介绍液压泵和液压马达(其中包括渔船常用的低速大扭矩液压马达)、液压缸、液压控制阀及辅助元件的工作原理、结构和性能参数等;三、液压传动系统,着重介绍液压基本回路的组成、特性及功能;并结合专业要求分析几种典型液压系统;然后总结上述内容对液压传动系统设计计算阐明原理和规范;最后介绍液压系统的安装、调试、使用与维护以及液压系统常见故障与排除方法。

本教材可供每周4—5学时一学期学完,如果学时较少,可以略去“\*”号的章节,并为学生自学选修内容,不会影响全书的连贯性。

本书编写过程中曾得到华中工学院、东北工学院等兄弟院校和上海液压气动公司有关工厂的热情帮助和大力支持;本书由华中工学院流体传动与控制教研室何存兴同志承担审校工作,借此表示衷心感谢。由于编者水平有限,书中一定存在不少缺点和错误,希望读者们在使用中进一步审查,并提出指正和批评。

编 者

1985年8月厦门集美学村

# 目 录

## 前 言

## 第一篇 液压流体力学

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 第一章 绪论 .....                                                   | 1  |
| 第一节 液压传动概述 .....                                               | 1  |
| 第二节 液压传动的工作原理 .....                                            | 2  |
| 第三节 液压系统的组成 .....                                              | 3  |
| 第四节 液压传动的主要优缺点 .....                                           | 4  |
| 一、液压传动的主要优点 .....                                              | 4  |
| 二、液压传动的主要缺点 .....                                              | 4  |
| 第二章 液压液体力学基础知识 .....                                           | 5  |
| 第一节 液压油的物理性质、要求及选择 .....                                       | 5  |
| 一、国际单位制 (Système International d'Unités), 规定用SI为其国际单位制符号 ..... | 5  |
| 二、液压油的物理性质 .....                                               | 6  |
| 三、对液压油的要求 .....                                                | 17 |
| 四、液压油的选择 .....                                                 | 18 |
| 第二节 作用于液体中的作用力 .....                                           | 21 |
| 一、液体的力学模化 .....                                                | 21 |
| 二、作用于液体上的作用力 .....                                             | 21 |
| 第三节 液体静力学 .....                                                | 22 |
| 一、液体静压力及其特性 .....                                              | 22 |
| *二、液体平衡的微分方程式 .....                                            | 24 |
| 三、在重力作用下的液体平衡方程式——液体静力学基本方程式 .....                             | 26 |
| 四、大气压力、绝对压力、相对压力和真空度 .....                                     | 28 |
| 五、液体静力学基本方程的几何意义和能量意义 .....                                    | 29 |
| 六、帕斯卡定律 .....                                                  | 31 |
| 七、液体静压力作用在平面和曲面上的总压力 .....                                     | 32 |
| 第四节 液体运动学基础 .....                                              | 34 |
| 一、液体运动的基本概念 .....                                              | 34 |
| 二、流场运动要素 .....                                                 | 37 |
| 第五节 液流的连续性方程 .....                                             | 40 |
| 一、一元稳定流连续性方程 .....                                             | 40 |
| *二、空间运动的连续性方程 (三元连续方程式) .....                                  | 41 |
| *第六节 理想液体的运动微分方程式 .....                                        | 44 |
| 第七节 不可压缩液体的伯努利方程式 .....                                        | 45 |
| *一、理想液体的伯努利方程式 .....                                           | 46 |
| 二、利用动能定理推导的微小流束理想液体的伯努利方程 .....                                | 47 |
| 三、实际液体微小流束的伯努利方程式 .....                                        | 48 |
| 四、实际液体总流的伯努利方程式 .....                                          | 48 |
| 五、实际液体伯努利方程的几何意义和能量意义 .....                                    | 51 |

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 六、伯努利方程的应用举例            | 53 |
| 第八节 稳定流的动量方程            | 55 |
| 一、不可压缩稳定流动的动量方程         | 56 |
| 二、动量方程的应用举例             | 57 |
| 第九节 液流阻力和压力损失           | 59 |
| 一、液体流动状态和雷诺实验           | 59 |
| 二、液体流动的压力损失             | 61 |
| 三、管中液体的层流运动规律和沿程阻力的计算   | 62 |
| 四、管中液体的紊流运动规律及其沿程阻力的计算  | 64 |
| 五、局部阻力的压力损失             | 69 |
| 六、管路系统阻力损失的计算           | 75 |
| 七、管路系统压力损失近似计算          | 76 |
| 第十节 液流经孔口的流量——压力特性      | 76 |
| 一、薄壁小孔                  | 76 |
| 二、细长小孔                  | 78 |
| 三、圆柱滑阀阀口的液流             | 78 |
| 第十一节 间隙(缝隙)流动及漏泄量       | 79 |
| 一、两平行板间的间隙流动            | 80 |
| *二、同心圆柱环形间隙流动           | 82 |
| *三、偏心圆柱环形间隙流动           | 83 |
| *四、两倾斜面间间隙的流动           | 84 |
| *五、液压卡紧问题               | 85 |
| *六、平行圆盘缝隙间的层流流动         | 87 |
| *七、圆锥状环形间隙流动            | 88 |
| 第十二节 液压冲击               | 89 |
| 一、液压冲击现象及产生的原因          | 89 |
| 二、液体管道迅速关闭时的液压冲击        | 89 |
| 三、液压冲击波的传播过程            | 90 |
| 四、液压冲击压力及冲击波在管中的传播速度的计算 | 90 |
| 五、液流通道的关闭迅速程度与液压冲击      | 92 |
| 六、执行元件带动运动机构制动时所产生的液压冲击 | 92 |
| 第十三节 气穴                 | 93 |
| 一、气穴概述                  | 93 |
| 二、节流空穴                  | 94 |
| 三、液压泵吸油管中的气穴            | 94 |
| 四、防止气穴产生的几种措施           | 95 |

## 第二篇 液压元件

|                            |     |
|----------------------------|-----|
| 第三章 液压泵和液压马达               | 97  |
| 第一节 液压泵和液压马达的作用、分类及主要参数和要求 | 97  |
| 一、液压泵和液压马达的作用和分类           | 97  |
| 二、液压泵和液压马达的基本性能参数          | 97  |
| 三、液压泵和液压马达主要参数的计算          | 99  |
| 四、对液压泵和液压马达的要求             | 104 |
| 第二节 齿轮液压泵和齿轮液压马达           | 104 |
| 一、齿轮泵的工作原理                 | 104 |

|                        |     |
|------------------------|-----|
| 二、齿轮泵存在的几个共同性问题        | 106 |
| 三、齿轮泵的排量及平均流量的计算       | 110 |
| 四、齿轮液压马达的工作原理及其结构      | 111 |
| 第三节 摆线转子泵和摆线转子液压马达     | 114 |
| 一、摆线转子泵的工作原理           | 114 |
| 二、摆线转子液压马达的工作原理        | 116 |
| 三、摆线转子液压马达的排量计算        | 116 |
| 四、摆线转子液压马达的理论扭矩        | 118 |
| 五、摆线转子液压马达的典型结构        | 118 |
| 第四节 叶片泵和叶片马达           | 119 |
| 一、单作用叶片泵               | 120 |
| 二、双作用叶片泵               | 124 |
| *三、叶片泵的流量计算            | 132 |
| 四、变量叶片泵与双作用定量叶片泵的比较    | 133 |
| 五、叶片式液压马达              | 134 |
| 第五节 轴向柱塞式液压泵和液压马达      | 135 |
| 一、斜盘式轴向柱塞泵             | 136 |
| 二、斜盘式轴向柱塞液压马达          | 147 |
| 三、斜轴式轴向柱塞泵             | 150 |
| 四、斜轴式轴向柱塞液压马达          | 154 |
| 第六节 径向柱塞式低速大扭矩液压马达     | 155 |
| 一、概述                   | 155 |
| 二、径向柱塞式低速大扭矩液压马达的工作原理  | 156 |
| 三、曲轴连杆式低速大扭矩液压马达       | 157 |
| 四、单作用无连杆式径向柱塞液压马达      | 161 |
| 五、多作用内曲线径向柱塞式低速大扭矩液压马达 | 165 |
| 第七节 液压泵和液压马达的主要性能及选择   | 171 |
| 一、液压泵的主要性能             | 171 |
| 二、液压马达的主要性能            | 171 |
| 三、液压泵和液压马达的选择          | 172 |
| 四、使用液压泵和液压马达的注意事项      | 173 |
| 第四章 液压缸                | 174 |
| 第一节 液压缸的种类及特点          | 174 |
| 第二节 液压缸的结构             | 175 |
| 一、液压缸的典型结构             | 175 |
| 二、液压缸各组成部分的结构          | 176 |
| 第三节 液压缸的工作原理和主要参数的计算   | 180 |
| 一、柱塞式液压缸               | 180 |
| 二、双作用双活杆液压缸            | 181 |
| 三、双作用单活杆液压缸            | 181 |
| 四、差动液压缸                | 183 |
| 第四节 液压缸的设计与计算          | 184 |
| 一、设计依据和设计步骤            | 184 |
| 二、基本参数的确定              | 185 |
| 三、结构强度计算和稳定性的验算        | 187 |
| 四、液压缸的连接强度计算           | 190 |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 第五节 摆动液压缸 .....             | 192 |
| 一、单叶片式摆动液压缸的力矩与压力等的关系 ..... | 193 |
| 二、单叶片式摆动缸的流量和转速的关系 .....    | 194 |
| 三、多叶片式摆动缸的力矩和转速的计算 .....    | 194 |
| 第五章 液压控制阀 .....             | 195 |
| 第一节 液压控制阀的分类及作用 .....       | 195 |
| 一、根据用途的不同分类 .....           | 195 |
| 二、液压阀的基本参数 .....            | 195 |
| 三、对液压阀的基本要求 .....           | 193 |
| 第二节 方向控制阀 .....             | 193 |
| 一、单向阀 .....                 | 193 |
| 二、换向阀 .....                 | 200 |
| 第三节 压力控制阀 .....             | 218 |
| 一、溢流阀 .....                 | 218 |
| 二、顺序阀 .....                 | 230 |
| 三、减压阀 .....                 | 233 |
| 四、压力继电器 .....               | 237 |
| 第四节 流量控制阀 .....             | 238 |
| 一、节流口的流量特性 .....            | 238 |
| 二、节流阀的结构型式和选择 .....         | 242 |
| 三、行程节流阀 .....               | 244 |
| 四、调速阀 .....                 | 245 |
| 五、分流阀 .....                 | 247 |
| 第五节 比例控制阀 .....             | 249 |
| 一、电磁式比例调速阀 .....            | 249 |
| 二、电磁式比例溢流阀 .....            | 250 |
| 第六章 液压辅助元件和密封件 .....        | 251 |
| 第一节 油箱 .....                | 252 |
| 一、油箱的用途和结构 .....            | 252 |
| 二、油箱的结构设计 .....             | 252 |
| 三、油箱的计算 .....               | 253 |
| 四、压力油箱 .....                | 254 |
| 第二节 滤油器 .....               | 254 |
| 一、油液污染的成因 .....             | 254 |
| 二、滤油器的主要性能要求 .....          | 254 |
| 三、滤油器的结构和种类 .....           | 255 |
| 四、滤油器的选择、型号说明及图形符号 .....    | 257 |
| 五、滤油器在液压系统中的安装位置 .....      | 258 |
| 第三节 管道和管接头 .....            | 259 |
| 一、管道 .....                  | 259 |
| 二、管接头 .....                 | 263 |
| 第四节 蓄能器 .....               | 264 |
| 一、蓄能器的作用 .....              | 264 |
| 二、蓄能器的原理和结构 .....           | 265 |
| 三、蓄能器的容量计算 .....            | 266 |
| 第五节 密封件和密封装置 .....          | 267 |

|             |     |
|-------------|-----|
| 一、间隙密封..... | 267 |
| 二、接触密封..... | 268 |

### 第三篇 液压传动系统

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| 第七章 液压基本回路.....                           | 273 |
| 第一节 压力控制回路 .....                          | 273 |
| 一、调压回路.....                               | 273 |
| 二、减压回路.....                               | 276 |
| 三、增压回路.....                               | 277 |
| 四、卸荷回路.....                               | 278 |
| 五、背压回路.....                               | 281 |
| 第二节 速度控制回路 .....                          | 282 |
| 一、节流调速回路及其特性.....                         | 282 |
| 二、容积调速回路.....                             | 290 |
| 三、容积调速回路的调速比的分析.....                      | 295 |
| 第三节 方向控制回路 .....                          | 298 |
| 一、换向回路.....                               | 298 |
| 二、锁紧回路.....                               | 298 |
| 第四节 单泵多执行元件回路.....                        | 299 |
| 一、顺序动作回路.....                             | 300 |
| 二、同步回路.....                               | 302 |
| 三、多液动机动作互不干扰回路.....                       | 304 |
| 四、单泵多个液动机的串联、并联和顺序动作回路.....               | 305 |
| 第五节 液压马达回路 .....                          | 311 |
| 一、限速回路.....                               | 311 |
| 二、液压马达制动回路和缓冲回路.....                      | 312 |
| 三、液压马达补油和冷却回路.....                        | 315 |
| 四、液压马达的浮动回路.....                          | 317 |
| 五、安全回路.....                               | 318 |
| 六、其他回路.....                               | 321 |
| 第八章 渔业机械典型液压系统 .....                      | 322 |
| 第一节 液压系统图的阅读和分析方法 .....                   | 322 |
| 一、阅读液压系统图的步骤和分析方法.....                    | 322 |
| 二、液压系统图阅读和分析举例.....                       | 324 |
| 第二节 捕捞机械液压传动.....                         | 325 |
| 一、艉滑道拖网渔船液压系统.....                        | 326 |
| 二、600马力围网渔船甲板机械的液压系统 .....                | 329 |
| 三、船舷液压起网机液压系统.....                        | 331 |
| 四、JYWI-2×2/50型液压绞纲机和WYL-1.0/18型液压起网机..... | 333 |
| 第三节 渔船机械液压系统.....                         | 336 |
| 一、可调螺距螺旋桨液压传动.....                        | 336 |
| 二、液压起锚机液压系统.....                          | 333 |
| 第九章 液压系统的设计与计算 .....                      | 340 |
| 第一节 液压系统设计步骤 .....                        | 340 |
| 一、明确设计依据、进行工况分析.....                      | 340 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 二、拟定液压系统方案.....                  | 341 |
| 第二节 明确设计依据、进行工况分析.....           | 343 |
| 一、液压执行元件的负载分析.....               | 343 |
| 二、画负载循环图.....                    | 344 |
| 第三节 拟定液压系统原理图.....               | 345 |
| 一、确定液压系统方案.....                  | 345 |
| 二、拟定液压系统工作原理简图.....              | 346 |
| 第四节 液压元件的选择.....                 | 348 |
| 一、选择液动机.....                     | 348 |
| 二、液压泵的选择计算.....                  | 349 |
| 三、液压控制阀的选择.....                  | 353 |
| 四、辅助装置的选择与计算.....                | 354 |
| 第五节 液压系统性能的验算.....               | 354 |
| 一、液压系统压力损失的验算.....               | 355 |
| 二、液压系统发热和温升的验算.....              | 356 |
| 三、液压系统的液压冲击的验算.....              | 359 |
| 第六节 绘制正式工作图, 编制技术文件及说明书.....     | 359 |
| 一、绘制正式的液压系统工作图.....              | 359 |
| 二、编制技术文件.....                    | 360 |
| 第七节 液压传动系统的设计计算举例.....           | 360 |
| 一、机帆渔船动力滑车液压系统的设计计算.....         | 360 |
| 二、液压舵机的主要参数计算.....               | 367 |
| 第十章 液压系统的安装、调试及故障的排除.....        | 369 |
| 第一节 渔船液压机械安装的特点和要求.....          | 369 |
| 第二节 液压系统的安装.....                 | 370 |
| 一、液压管道的安装.....                   | 370 |
| 二、液压元件的安装.....                   | 373 |
| 第三节 液压系统的清洗及试压.....              | 375 |
| 一、液压系统的清洗.....                   | 375 |
| 二、液压系统的试压.....                   | 376 |
| 第四节 液压系统的调试.....                 | 377 |
| 一、液压系统调试的准备.....                 | 377 |
| 二、液压系统的调试.....                   | 378 |
| 第五节 液压系统的使用和维护.....              | 379 |
| 一、液压油的使用和维护.....                 | 379 |
| 二、防止空气进入液压系统.....                | 380 |
| 三、防止油温过高.....                    | 380 |
| 四、对液压系统加强日常检查和定期检查.....          | 381 |
| 第六节 液压传动系统常见故障与排除方法.....         | 381 |
| 第七节 主要液压元件的常见故障及排除方法.....        | 383 |
| 一、液压泵常见的故障、原因及排除方法.....          | 383 |
| 二、溢流阀(包括电磁溢流阀)常见的故障、原因及排除方法..... | 384 |
| 三、电磁换向阀与电液换向阀常见故障、原因及排除方法.....   | 385 |
| 四、单向阀及液控单向阀的常见故障、原因及排除方法.....    | 385 |
| 五、顺序阀的常见故障、原因及排除方法.....          | 386 |
| 六、调速阀的常见故障、原因及排除方法.....          | 386 |

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 七、节流阀和单向节流阀的常见故障、原因及排除方法.....    | 386 |
| 八、减压阀的常见故障、原因及排除方法.....          | 387 |
| 九、液压缸常见故障、原因及排除方法.....           | 387 |
| 十、液压马达常见故障、原因及排除方法.....          | 387 |
| 十一、压力继电器常见故障、原因及排除方法.....        | 388 |
| 十二、电磁式比例调速阀常见故障、原因及排除方法.....     | 388 |
| 十三、电磁式比例先导溢流阀常见故障、原因及排除方法.....   | 388 |
| 例题和习题 .....                      | 390 |
| 附录 1 国际单位制 (SI制) 及其换算 .....      | 426 |
| 附录 2 液压系统图形符号 .....              | 427 |
| 附录 3 液压泵和液压马达技术性能.....           | 437 |
| 附录 4 低速大扭矩液压马达的分类与性能参数 .....     | 439 |
| 附录 5 高压液压阀 (榆次液压件厂系列) 型号说明 ..... | 440 |
| 附录 6 高压液压阀 (一机部联合设计系列) 型号说明 ..   | 441 |
| 附录 7 中低压液压元件型号说明 .....           | 442 |

# 第一篇 液压流体力学

## 第一章 绪 论

### 第一节 液压传动概述

渔船和渔业机械与其他工业部门一样,采用液压传动装置日益增多,无论是拖网渔船、围网渔船的甲板机械和捕捞机械、养殖机械、加工机械等广泛得到应用,如最早应用液压传动装置是液压舵机,随后有拖网、围网绞机、起网机(动力滑车及船舷侧起网机)、吸渔泵、船舱口盖及防水门的开关、侧面推进器、防摆装置、起锚机、平板冻结机(立式与卧式)等。在渔船修造厂的机床也广泛采用液压传动的机床有:车床、钻床、镗床、磨床、铣床、刨床等。

在渔船上采用低压系统液压传动装置是挪威人——Einar Roesok,他是渔业液压设备的奠基人之一。他早在三十年代在15米长的 Brog 渔船上的绞车装置了液压传动。该项试验十分成功,导致挪威 Hydraulik Braltvaag 公司及 Norwinch 公司、瑞典 Lidan 公司制造的叶片式液压泵和液压马达的 $30 \times 10^5$ 帕的低压系统的大发展,这些单位已为渔船提供二千多台液压设备。渔船上广泛的应用液压装置,在很大程度上要归功于加利福尼亚 Mareo-Püretie 公司发明的围网起网机——液压动力滑车。在五十年代末期以前渔业上的液压传动仍用低压系统,到六十年代为中高压系统,如冰岛、挪威、智利、秘鲁、荷兰以及联邦德国等欧洲渔业广泛采用中高压系统。我国渔轮捕捞甲板机械的液压传动是首先从研究 WY-CX4/18 型的中高压围网起网机(动力滑车)开始的,与此同时,又研制 WYD4 型中高压分列式绞纲机并配套设计了 JM36 型径向柱塞式低速大扭矩液压马达和配流、换向、防冲集成阀。为了与 JM36 型径向柱塞式低速大扭矩液压马达配套,又设计 JB2 $\times$ 40 型液压泵,它是一种采用于船舶主机直接驱动的新型液压泵,该泵是采用外曲线转子、钢球浮动、滑阀配流、径向柱塞通轴双联等结构形式,具有低速、高压的特性。

液压传动课程是渔业机械等专业一门基础技术课。根据培养目标对本课程提出如下要求:掌握液压传动的基本理论,和运用理论能够分析渔船和渔业机械的实际问题,必须对各种液压元件(液压泵、液压马达、液压缸、液压阀及辅助装置)的工作原理、结构、性能有充分理解和进行选型设计,并对液压系统的液压基本回路和液压系统的分析及设计计算应当较熟练,同时对国内外典型渔业机械液压系统能进行分析和比较,最后对有关渔业机械的液压设备能够正确安装和使用、维修等基本技能有一定实践知识。本课程为渔业机械、捕捞机械和加工机械及渔港装卸机械中的液压设备提供基本理论和知识,有些具体的结构形式、传动方法由以上几门课程讲授,同时本课程为学生毕业设计时提供了参考资料。本课程因各专业要求不同,可根据具体情况进行教学。本教材采用国际单位制。

## 第二节 液压传动的工作原理

用液体作为工作介质进行能量的传递，称为液体传动。

液体传动按其工作原理的不同，又可分为容积式液体传动和动力式液体传动两大类。两者的根本区别在于：前者是以液体的压力能进行工作，而后者是以液体的动能进行工作。通常将前者称为液压传动，而后者称为液力传动。本书所讨论的是液压传动，它的理论基础是液压流体力学。

液压传动应用液体的两个最重要的特性：1. 假定液体不可压缩；2. 液体中压力向各方向作同样的传播。

液压传动是应用液压流体力学的“帕斯卡”原理，是用封闭在回路里的有压液体作为工作介质，把液压势能转换为机械能，或反之，或其组合的技术。它和电气传动、机械传动一样，都是把外界能源通过转换和传递用以驱动负载的传动装置。换句话说，液压传动的工作原理是以液体作为传递能量的工作介质，在密闭的工作条件下，当原动机（电动机或内燃机）驱动液压泵旋转，因液压泵的容积从小变大时，而产生局部真空度，在大气压力作用下使油液从油箱经滤油器吸入泵内为吸油过程，液压泵在运转过程中容积又从大变小将油液从泵体出口压出完成了压油过程，这时液压泵是将原动机输入的机械能力矩  $M$ 、转速  $n$  转换为液压能流量  $Q$  和压力  $p$  输出；输出的油液经液压阀的控制和调节输往液动机（执行元件）——液压马达或液压缸，这时是把压力能通过液动机转换为机械能，来驱动机器的运动部件运动。

为了进一步理解液压传动的工作原理，常用液压千斤顶来说明。图 1-1 是液压千斤顶的

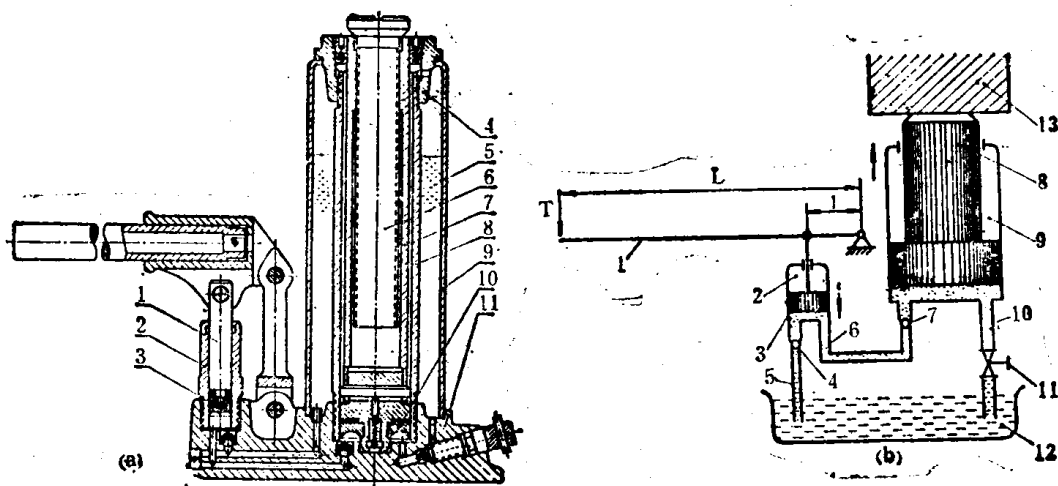


图1-1 液压千斤顶

(a) 结构图

1. 小活塞；2. 小油缸；3. 密封圈；4. 顶帽；5. 液压油；6. 调节螺杆；7. 大活塞；8. 大油缸；9. 外套；10. 大密封圈；11. 底座

(b) 原理图

1. 手柄；2. 小液压缸；3. 小活塞；4. 7. 单向阀；5. 6. 10. 管道；11. 放油螺塞；12. 油箱；13. 重物

**结构示意图**，它有大小两个液压缸，只要在手柄上施加几十牛顿的力，大液压缸就能顶起几千牛顿重的重物。那么，它是怎么样工作的呢？当人们将手柄8向上扳动时，连杆带动小活塞7向上移动，形成局部真空（小活塞移动相当液压泵的容积从小变大），储存在油箱2的油液经过管道C和单向阀6吸入小液压缸（液压泵）下腔；当手柄8被压下时，小活塞向下移动（容积由大变小）于是小液压缸下腔的油液经管道b和单向阀8压入大液压缸下腔（此时单向阀6关闭），这个过程是将机械能转换为液压能；当油液进入大液压缸下腔，大活塞在油液的作用下，迫使大活塞1上升，顶起重物，这个过程是将油液的液压能转换为机械能。这样，手柄不断上下往复扳动，就能不断地把油液压入大缸下腔，使大活塞顶着重物慢慢上升。单向阀3的作用是保证进入大缸的油液不能倒流，从而使重物保持在上升位置。若要使重物降下，可拧开放油螺塞5，让大液压缸内的油液经管道a和单向阀4流回油箱2，使大活塞下降。只要控制放油开口的大小，就可以控制重物下降的速度。

从上述分析可知，液压千斤顶的工作原理是液压传动最简单例子，但无论是简单的或复杂的液压传动都应具备下列条件才能正常工作。

1. 以液体为工作介质；
2. 力或力矩的传递是按照帕斯卡定律（静压传递定律）进行的；
3. 速度或转速的传递按“容积变化相等”的原则进行；
4. 能量转换是符合能量守恒定律。

### 第三节 液压系统的组成

液压传动系统形式有复杂的或简单的，从能量转换的角度来看，它们的工作原理和组成基本上是相同，下面再以拖网绞钢机的液压系统（图1-2）为例，说明液压传动系统的组成。

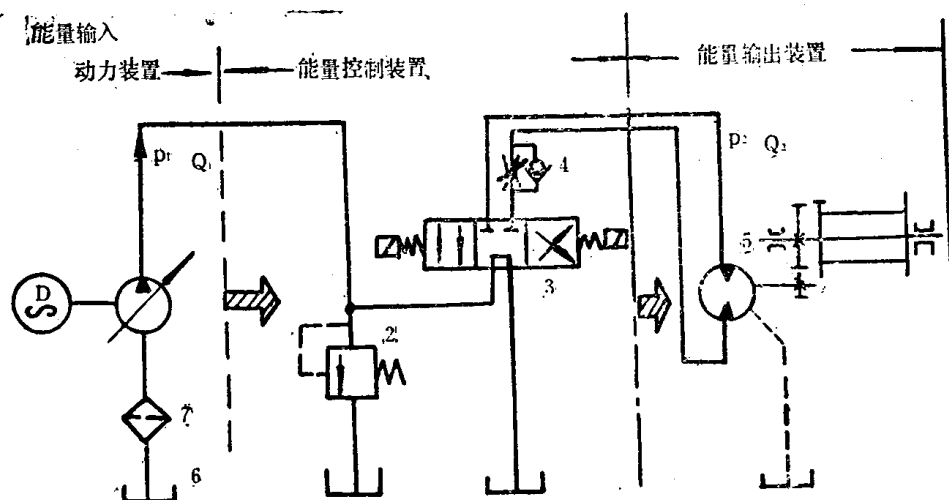


图1-2 液压系统的组成

1. 液压泵；2. 溢流阀；3. 换向阀；4. 调速阀；5. 液压马达；6. 油箱；7. 滤油器

该系统通常由液压泵1、溢流阀2、电磁换向阀3、调速阀4、液压马达5和油箱6及滤油器7等组成。

由此可见，一般液压系统都是由以下五部分组成：

1. 动力元件 液压泵，它是液压系统的动力元件，其职能是将原动机的机械能转换为液

体的压力势能。液压泵的种类按结构分为齿轮泵、叶片泵和柱塞泵等。

2. 执行元件 液压机（包括液压马达或液压缸），它的职能是将液体的压力势能转换为执行机构的机械能。液压马达驱动负载做旋转运动，它分高速小扭矩和低速大扭矩液压马达；液压缸驱动负载做往复运动。

3. 控制元件 液压控制阀（简称液压阀），它的职能是在液压系统中的各种液压阀用以控制和调节各部分液体的压力、方向和流量，以满足执行机构的力或力矩、方向和速度的工作要求，完成一定的工作循环。

4. 辅助元件 辅助装置，它包括油箱、滤油器、油管及油管接头、密封件、冷却器和加热器与蓄能器等，它们都是液压系统的组成部分之一，虽然是起辅助作用，但它们对液压系统的正常工作，工作效率、使用寿命等影响极大，因此对辅助元件必须予以足够的重视。

5. 工作介质 液压传动的工作液体，在液压传动装置中，通常都采用矿物油作为工作介质，它不但能传递能量，而且对液压装置的机构与零件起润滑作用。目前除用矿物油外还有乳化液和合成油。

## 第四节 液压传动的主要优缺点

### 一、液压传动的主要优点

液压传动与机械传动、电力传动、气压传动等其它传动形式相比较，有如下主要优点：

1. 液压传动可以在较大的范围内实现无级调速，同时调速装置简单，成本低。
2. 操作简单，便于实现自动化，特别是电、液联合应用时，易于实现复杂的自动工作循环。因此，液压传动在自动、半自动化程度要求较高的场合得到广泛的应用。
3. 传递运动均匀平稳，负载变化时速度较稳定，便于实现频繁的换向。
4. 易于实现过载保护。
5. 因为采用油液作为工作介质，使相对运动表面之间能自行润滑，所以使用寿命长。
6. 液压传动与机械、电力传动方式比较，在输出相同功率的条件下，它的体积小、重量轻、动作灵敏。
7. 液压元件易于实现系列化、标准化、通用化。因此，便于设计、制造和推广使用。

### 二、液压传动的主要缺点

1. 液压传动采用油液为工作介质，在相对运动表面间不可避免地要有泄漏油液现象存在，它会影响运动的平稳性和准确性，因此不宜用在传动比要求严格的场合。
2. 当液体中含有空气时容易产生噪声，并使低速运动不平稳。
3. 温度变化时，液体粘度也随着发生变化，引起运动特性的变化。
4. 液压元件的制造精度要求较高，加工工艺较复杂。同时它的效率较低。
5. 发生故障不易检查。

总的说来，液压传动的优点是主要的，存在的缺点随着设计制造和使用水平的不断提高，是可以逐步克服和改进。随着我国工业的迅速发展，液压传动必将得到迅速的推广和提高。

## 第二章 液压液体力学基础知识

液压传动是利用液体作为工作介质来传递能量的一种传动方式。液体与气体统称为流体。因此，流体传动分为液压传动和气压传动。气压传动是以压缩空气为工作介质传递动力和控制信号的系统。流体力学主要是研究流体平衡和运动的规律以及流体与物体之间的相互作用的科学。液压液体力学主要研究液体与液压元件（包括管道等）间的相互作用的规律以及在液压技术上的应用。液压液体力学是流体力学的一个分支和组成部分。但液压液体力学认为液体若在外界压力作用下，体积仅有很小的压缩——称为不可压缩的液体；液体不能承受剪应力，仅能受静压力的作用，并按帕斯卡定理，静压力相等地作用于一切方向，液体所受的作用力是静压力和粘性力的作用为主。而流体力学的一般定理，若不考虑压缩性，仍然适用于液压液体力学。

学习“液压液体力学”的基本知识，以利于正确地掌握和理解液压传动的原理及液压元件的结构、工作原理和性能；为更好地进行液压系统的分析与设计奠定了基础理论，它是液压传动的主要内容之一。

### 第一节 液压油的物理性质、要求及选择

#### 一、国际单位制 (Système International d'Unités), 规定用 SI 为其国际单位制符号

国际单位制中的构成是由基本单位、辅助单位和导出单位称为国际制单位 (SI 单位)，而用构成国际制单位的十进倍数单位和分数单位的词冠，称为国际制词冠 (SI 词冠)。

下面将液压传动常用的国际制单位的名称、代号列表如下：

表2-1 国际制基本单位

| 量   | 名 称    | 代 号    |     |
|-----|--------|--------|-----|
|     |        | 中 文    | 国 际 |
| 长 度 | 米      | 米      | m   |
| 质 量 | 千克(公斤) | 千克(公斤) | kg  |
| 时 间 | 秒      | 秒      | s   |

表2-2 用基本单位表示的国际制导出单位

| 量   | 国 际 制 单 位   |                   |                   |
|-----|-------------|-------------------|-------------------|
|     | 名 称         | 代 号               |                   |
|     |             | 中 文               | 国 际               |
| 面 积 | 平 方 米       | 米 <sup>2</sup>    | m <sup>2</sup>    |
| 体 积 | 立 方 米       | 米 <sup>3</sup>    | m <sup>3</sup>    |
| 速 度 | 米 每 秒       | 米/秒               | m/s               |
| 加 密 | 米 每 秒 平 方   | 米/秒 <sup>2</sup>  | m/s <sup>2</sup>  |
|     | 千 克 每 立 方 米 | 千克/米 <sup>3</sup> | kg/m <sup>3</sup> |

表2-3 具有专门名称的国际制导出单位

| 量         | 国 际 制 单 位 |     |    |                           |                                                     |
|-----------|-----------|-----|----|---------------------------|-----------------------------------------------------|
|           | 名 称       | 代 号 |    | 用其他国际制单位表示的关系式            | 用国际制基本单位表示的关系式                                      |
|           |           | 中文  | 国际 |                           |                                                     |
| 力         | 牛 顿       | 牛   | N  |                           | $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$      |
| 压力(压强)、应力 | 帕斯卡       | 帕   | Pa | $\text{N}/\text{m}^2$     | $\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ |
| 能、功、热量    | 焦 耳       | 焦   | J  | $\text{N} \cdot \text{m}$ | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$    |
| 功 率       | 瓦 特       | 瓦   | W  | $\text{J}/\text{s}$       | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}$    |

表2-4 用专门名称表示的国际制导出单位

| 量         | 国 际 制 单 位 |         |                                      |                                                                    |
|-----------|-----------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
|           | 名 称       | 代 号     |                                      | 用国际制基本单位表示的关系式                                                     |
|           |           | 中 文     | 国 际                                  |                                                                    |
| (动力) 粘度   | 帕斯卡秒      | 帕·秒     | $\text{Pa} \cdot \text{s}$           | $\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$                |
| 力 矩       | 牛 顿 米     | 牛·米     | $\text{N} \cdot \text{m}$            | $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$                   |
| 热导率(导热系数) | 瓦特每米开尔文   | 瓦/(米·开) | $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ | $\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ |

表2-5 国际制词冠

| 因 数       | 词 冠 | 代 号 |       |
|-----------|-----|-----|-------|
|           |     | 中 文 | 国 际   |
| $10^9$    | 兆   | 兆   | M     |
| $10^6$    | 千   | 千   | k     |
| $10^3$    | 百   | 百   | h     |
| $10^2$    | 十   | 十   | da    |
| $10^{-1}$ | 分   | 分   | d     |
| $10^{-2}$ | 厘   | 厘   | c     |
| $10^{-3}$ | 毫   | 毫   | m     |
| $10^{-6}$ | 微   | 微   | $\mu$ |

## 二、液压油的物理性质

1. 重度 液体单位体积的重量称为重度。其数学表示式为:

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad (\text{牛顿}/\text{米}^3) \quad (2-1)$$

式中:  $\gamma$ ——液体的重度 (牛顿/米<sup>3</sup>);

$G$ ——液体的重量 (牛顿);

$V$ ——液体的体积(米<sup>3</sup>)。

矿物油的重量 $\gamma = 8400\text{—}9500$ (牛顿/米<sup>3</sup>)

2. 密度 液体单位体积的质量称为密度。其数学表示式为:

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (2-2)$$

式中:  $\rho$ ——液体的密度(千克/米<sup>3</sup>);

$M$ ——液体的质量(千克);

$V$ ——液体的体积(米<sup>3</sup>)。

矿物油的密度 $\rho = 850\text{—}960$ (千克/米<sup>3</sup>)

由于重量 $G$ 等于质量 $M$ 乘重力加速度 $g$ , 即 $G = M \cdot g$ , 所以用 $V$ 除等式两边得:

$$\gamma = \frac{M \cdot g}{V} = \rho \cdot g$$

上式表明了重度与密度的关系。重力加速度 $g$ 的数值为 $9.81$ 米/秒<sup>2</sup>。

液压油的密度和重度都随压力和温度的变化而变化。液体的密度和重度随温度的升高而减小。随压力增加而增大。但是在实际工作中, 温度和压力引起液体的密度和重度的变化甚微, 可近似地认为液压油的密度和重度是定值量。而不同的液压油其密度和重度是不相同的。

### 3. 粘度

(1) 粘度的定义及其单位:

定义: 粘性是液体流动时在液体分子之间的内聚力所呈现出来的内部摩擦力。

粘性是液压油的各种物理性质中最重要的特性, 也是选择液压油的一个非常重度的依据。粘性的大小可用粘度来表示。

图 2-1 所示是两平行平面间液体的流动, 设上平面以速度 $u_0$ 相对于下平面运动, 紧贴于上平面上的液压油粘附于上平面上, 其流速为 $u_0$ , 紧贴着下平面的油液, 由于受到它以上各层油液的内聚力的作用, 其速度为零。

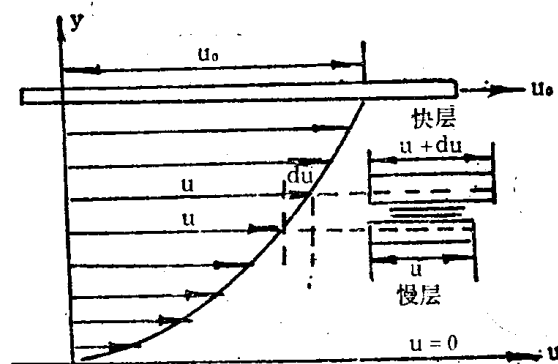


图2-1 相对运动与粘性

由此可见, 每一运动较慢的液流层, 都是在运动较快的液流层带动下才运动的。同时, 每一运动较快的液流层(快层), 也受到运动较慢的液流层(慢层)的阻碍, 而不能运动得更快。因此, 说明相邻液流层发生相对运动时, “快层”对“慢层”产生一个“拖力”, 使“慢层”加速。根据作用与反作用的原理, “慢层”对“快层”有一个反向作用力, 使“快层”减速, 即它是一个阻止运动的力称为阻力, “拖力”和“阻力”是大小相等方向相反的一对力, 分别作用在两个液流层的接触面上。因为这一对力是液体的内部产生的, 所以把这一对力称为粘性阻力或内摩擦力。

为了确定液体的粘性力, 首先讨论速度梯度的概念。设某瞬时 $t$ , 在作层状运动(层流)的液体中, 取一微小体积, 其剖面为微小矩形 $ABCD$ (图2-2),  $AB$ 边速度为 $u$ ,  $CD$ 边速度为 $u + du$ , 两个边的垂直距离(速度 $u$ 的法线方向尺寸)为 $dy$ 。经过 $ds$ 时间后, $ABCD$ 各点分别流动到 $A'B'C'D'$ 点。由图中关系, 可得: