

高等工业专科学校试用教材

# 液压传动

江苏省《液压传动》编写组

江苏科学技术出版社

高等工业专科学校试用教材

# 液 压 传 动

江苏省《液压传动》编写组

江苏工业学院图书馆  
藏书章

江苏科学技术出版社

## 内 容 简 介

本书在介绍了液压传动基本理论的基础上,较全面地介绍了液压元件和液压系统。

全书共分十章。第一章绪论;第二章液压油和液压流体力学基础;第三章至第六章各类液压元件(泵、液压马达,缸,阀和辅助元件);第七章至第九章介绍了液压基本回路、液压系统和液压系统的设计计算;第十章简介了液压伺服系统。

本书为高等工业专科学校、职业大学、夜大学和职工大学等机械专业的教学用书;也可供工厂、研究单位技术人员和要求相近的本科院校师生教学参考。

## 液 压 传 动

江苏省《液压传动》编写组

---

江苏科学技术出版社出版  
江苏省新华书店发行  
扬州印刷厂印刷

---

开本787×1092毫米 1/16 印张 16.25 字数 388,400  
1986年7月第1版 1986年7月第1次印刷  
印数 1—10,200册

---

书号: 13196·219 定价: 2.70元

责任编辑 孙广能

## 前 言

近年来,随着高等专科学校和职业大学的发展,编写专科适用的教材已成当务之急。为此,我们在江苏省高教局的组织领导下,主要根据三年制机制专业《液压传动》教学大纲编写了本书。

高等工程专科性质的学校,培养应用型人才,大多面向中小型工厂。这些工厂专业各异,液压传动作为一门较新的技术,使用还不普遍。因此,本书在编写中,着眼于应用,力求加强学生的动手能力;在取材上,尽量反映液压技术的最新发展,并在某些内容和习题中引进了电子计算机的程序编制;在内容的编排上,主要根据机制专业,而又兼顾其他机械专业的需要。选用本教材的学校,可根据本校的专业设置,进行适当删减。

参加本书编写工作的,按姓氏笔划为序有:冯国雄(江南大学,第九章);邵大钧(江南大学,第八章);陈顺芳(常州工业技术学院,第四章及§9—5);张远圻(南通纺织工学院,第五、六章);姚如一(扬州工业专科学校,第二、三章)和谢达荣(扬州工业专科学校,第一、七和十章)。全书由姚如一和陈顺芳统编定稿,完成主编工作。

南京工学院章宏甲和唐光伟同志仔细地审阅了全稿,并提出了宝贵意见;陈天佑和马红霞同志绘制了全书插图。在此向他们表示衷心地谢意。

由于编写时间仓促,水平有限,书中错误和不妥之处,敬请使用本书的教师和读者批评指正。

江苏省《液压传动》编写组

一九八六年元旦

# 目 录

## 前言

## 第一章 绪论

|                   |   |
|-------------------|---|
| §1-1 液压传动的工作原理及组成 | 1 |
| 一、液压传动的工作原理和系统组成  | 1 |
| 二、液压系统图的职能符号      | 2 |
| §1-2 系统压力取决于负载的概念 | 3 |
| §1-3 液压传动的主要优缺点   | 3 |
| §1-4 液压传动的应用和发展趋势 | 4 |

## 第二章 液压油和液压流体力学基础

|                  |    |
|------------------|----|
| §2-1 液压油         | 5  |
| 一、液压油的物理性质       | 5  |
| 二、我国液压油系列及其选用    | 9  |
| 三、液压油的污染         | 11 |
| §2-2 液体静力学基础     | 12 |
| 一、静止液体中压力的分布规律   | 12 |
| 二、静止液体中压力的特性     | 13 |
| 三、压力的计量和单位       | 13 |
| 四、压力油对承压面作用力的计算  | 14 |
| §2-3 液体动力学基础     | 15 |
| 一、液体流动时的基本概念     | 16 |
| 二、液流连续性方程        | 18 |
| 三、伯努利方程(能量方程)    | 18 |
| 四、液流的动量方程        | 21 |
| §2-4 液体流动时的能量损失  | 23 |
| 一、液体的流动状态        | 23 |
| 二、沿程能量损失         | 24 |
| (一)层流时的沿程损失(24)  |    |
| (二)紊流时的沿程损失(26)  |    |
| 三、局部能量损失         | 27 |
| 四、管路系统总压力损失和压力效率 | 28 |
| §2-5 小孔和缝隙的流量计算  | 30 |
| 一、小孔流量计算         | 30 |
| 二、缝隙流量计算         | 32 |

|                  |    |
|------------------|----|
| § 2-6 气蚀、液压冲击和噪声 | 33 |
| 一、气穴(空穴)和气蚀      | 33 |
| 二、液压冲击           | 34 |
| 三、振动与噪声          | 34 |
| 习题               | 35 |

### 第三章 液压泵和液压马达

|                         |    |
|-------------------------|----|
| § 3-1 概述                | 37 |
| 一、液压泵和液压马达的功用与正常工作的必要条件 | 37 |
| 二、液压泵和液压马达的分类           | 38 |
| 三、液压泵和液压马达的性能参数         | 38 |
| § 3-2 齿轮泵               | 40 |
| 一、分类和工作原理               | 40 |
| 二、齿轮泵带有共性的几个问题          | 41 |
| 三、齿轮泵结构介绍               | 43 |
| § 3-3 叶片泵               | 46 |
| 一、双作用定量叶片泵              | 46 |
| 二、双联叶片泵                 | 50 |
| 三、高压叶片泵的特点              | 50 |
| 四、变量叶片泵                 | 51 |
| § 3-4 柱塞泵               | 55 |
| 一、径向柱塞泵的工作原理            | 55 |
| 二、轴向柱塞泵                 | 56 |
| § 3-5 其它形式的液压泵          | 60 |
| 一、螺杆泵                   | 60 |
| 二、凸轮转子叶片泵               | 61 |
| § 3-6 液压泵类型选择           | 61 |
| § 3-7 液压马达              | 62 |
| 一、液压马达的使用               | 62 |
| 二、液压马达性能参数之二            | 62 |
| 三、高转速低转矩液压马达            | 63 |
| 四、低速大转矩液压马达             | 64 |
| 习题                      | 67 |

### 第四章 液压缸

|                |    |
|----------------|----|
| § 4-1 液压缸分类和特点 | 70 |
| 一、液压缸的分类       | 70 |
| 二、活塞式液压缸       | 70 |
| 三、柱塞式液压缸       | 73 |

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 四、回转式液压缸 .....        | 74 |
| 五、组合式液压缸 .....        | 75 |
| §4-2 液压缸的结构 .....     | 76 |
| 一、液压缸结构实例 .....       | 76 |
| 二、液压缸的组成和各部分的结构 ..... | 78 |
| §4-3 液压缸的设计计算 .....   | 84 |
| 一、液压缸设计的原始资料 .....    | 85 |
| 二、液压缸设计步骤和计算内容 .....  | 85 |
| 三、确定液压缸的工作压力 .....    | 85 |
| 四、确定液压缸主要结构尺寸 .....   | 86 |
| 五、液压缸的壁厚和外径的计算 .....  | 89 |
| 六、活塞杆的验算 .....        | 89 |
| 习题 .....              | 91 |

## 第五章 液压控制阀

|                        |     |
|------------------------|-----|
| §5-1 方向控制阀 .....       | 93  |
| 一、单向阀 .....            | 93  |
| 二、换向阀 .....            | 94  |
| §5-2 压力控制阀 .....       | 105 |
| 一、溢流阀 .....            | 105 |
| 二、减压阀 .....            | 113 |
| 三、顺序阀 .....            | 114 |
| 四、背压阀 .....            | 115 |
| 五、压力继电器 .....          | 115 |
| §5-3 流量控制阀 .....       | 117 |
| 一、节流阀 .....            | 117 |
| 二、节流口的流量特性 .....       | 118 |
| 三、调速阀 .....            | 119 |
| 四、温度补偿调速阀 .....        | 121 |
| §5-4 电液比例控制阀和逻辑阀 ..... | 121 |
| 习题 .....               | 126 |

## 第六章 液压辅助元件

|                  |     |
|------------------|-----|
| §6-1 蓄能器 .....   | 129 |
| 一、蓄能器的结构 .....   | 129 |
| 二、蓄能器的应用 .....   | 129 |
| 三、蓄能器的容量计算 ..... | 131 |
| §6-2 滤油器 .....   | 132 |
| 一、滤油器的作用 .....   | 132 |

|                  |     |
|------------------|-----|
| 二、滤油器的类型         | 132 |
| 三、滤油器的选用         | 134 |
| 四、滤油器的安装位置       | 135 |
| § 6-3 油 箱        | 136 |
| 一、油箱的作用和典型结构     | 136 |
| 二、油箱结构设计的有关问题    | 136 |
| § 6-4 油管 and 管接头 | 137 |
| 一、油 管            | 137 |
| 二、管 接 头          | 139 |
| 习题               | 141 |

## 第七章 液压基本回路

|                |     |
|----------------|-----|
| § 7-1 压力控制回路   | 142 |
| 一、调压回路         | 142 |
| 二、限压回路         | 144 |
| 三、减压回路         | 145 |
| 四、增压与增力回路      | 145 |
| 五、卸荷回路         | 148 |
| 六、保压回路         | 149 |
| 七、平衡回路         | 149 |
| § 7-2 方向控制回路   | 150 |
| 一、换向回路         | 150 |
| 二、锁紧回路         | 151 |
| § 7-3 速度控制回路   | 151 |
| 一、调速回路         | 151 |
| 二、增速回路(快速回路)   | 159 |
| 三、速度换接回路       | 161 |
| § 7-4 多缸工作控制回路 | 164 |
| 一、多缸顺序动作回路     | 164 |
| 二、同步回路         | 166 |
| 习题             | 170 |

## 第八章 液压传动系统实例及分析

|                                           |     |
|-------------------------------------------|-----|
| § 8-1 以速度变换为主的液压传动系统——组合机床液压传动系统          | 171 |
| § 8-2 换向精度高和快速平稳的往复运动液压传动系统——万能外圆磨床液压传动系统 | 175 |
| § 8-3 以压力变换为主的液压传动系统——压力机液压传动系统           | 180 |
| § 8-4 以压力变换为主的顺序控制液压系统——塑料注射成型机液压传动系统     | 184 |

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| § 8-5 主传动具有张力检测反馈自动调速的液压系统——浆纱机液压传动系统 | 189 |
| 习题                                    | 193 |

## 第九章 液压系统的设计和计算

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| § 9-1 明确设计要求            | 195 |
| § 9-2 液压系统工况分析, 原始数据的确定 | 196 |
| 一、液压系统工况分析              | 196 |
| 二、初定液压系统设计参数            | 199 |
| § 9-3 初定液压系统方案及工作原理图    | 201 |
| 一、选择液压基本回路, 初定液压系统方案    | 201 |
| 二、拟定液压系统工作原理图           | 203 |
| § 9-4 液压元件的计算和选择        | 205 |
| 一、选择液压泵并确定电机功率          | 205 |
| 二、选择其它元件规格              | 206 |
| § 9-5 液压装置的设计           | 207 |
| 一、板式联接液压站               | 207 |
| 二、集成块式液压站               | 208 |
| 三、叠加阀式液压站               | 209 |
| 四、集成块式回路的设计             | 210 |
| § 9-6 液压系统验算及技术文件的编制    | 215 |
| 一、管路压力损失的验算和溢流阀调整压力的确定  | 216 |
| 二、油液的温升验算               | 217 |
| 三、绘制工作图, 编制技术文件         | 218 |
| § 9-7 液压系统设计举例          | 219 |
| 习题                      | 232 |

## 第十章 液压伺服系统简介

|                   |     |
|-------------------|-----|
| §10-1 概述          | 234 |
| 一、液压伺服系统的工作原理和特点  | 234 |
| 二、液压伺服系统的组成和分类    | 236 |
| 三、液压伺服系统的主要优缺点    | 237 |
| §10-2 典型液压伺服控制元件  | 237 |
| 一、滑阀型控制阀          | 237 |
| 二、射流管式控制阀         | 239 |
| 三、喷嘴挡板式控制阀        | 239 |
| 四、液压转矩放大器         | 240 |
| §10-3 液压伺服系统的工作特性 | 241 |
| 一、静态特性            | 241 |

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 二、动态特性.....             | 242 |
| §10-4 电液伺服阀和电液伺服系统..... | 242 |
| 一、电液伺服阀.....            | 242 |
| 二、电液伺服系统实例 .....        | 244 |
| 习题.....                 | 246 |

# 第一章 绪 论

传动可以分为电传动、机械传动、气压传动和液体传动几大类。液体传动以液体为传动介质的目前有两种，一种叫动力式液力传动，是利用液体的动能进行工作的；另一种叫容积式液压传动，是利用液体的压力能进行工作的，简称液压传动。

本章通过两个实例介绍液压传动的基本原理、组成、概念、系统的职能符号图和主要优缺点，并简介其发展史和在各部门的应用。

## § 1-1 液压传动的工作原理及组成

### 一、液压传动的工作原理和系统组成

现以液压千斤顶为例，说明液压传动的工作原理，见图 1-1。当向上扳动手柄时，小活塞 1 也随之上升，小液压缸 2 里密封的工作容腔容积不断增大形成局部真空，油池内的液压油就在大气压力作用下打开小缸的单向阀进入小液压缸的工作容腔内，实现吸油过程。当压下手柄时，小活塞 1 被迫下移，液压油受到压缩，压力升高就关闭了小液压缸的单向阀；同时打开大液压缸的单向阀推动大活塞 7 提起重物。反复几次就能将重物升起一定高度。如要恢复原位，只要旋松油塞 12，重力使重物落下，而液压油又流回油箱。

现在，把图 1-1 简化成图 1-2 所示原理图。设物体重量为  $G$ ，大小活塞的有效作用面积分别为  $A_1$  和  $A_2$ ，则重物  $G$  在大液压缸内产生的压力（物理学中称为压强）是

$$P = G / A_2$$

当手柄作用力为  $F$  时，根据力学原理，作用于小活塞上的力就相当于放大了  $l_1 / l_2$  倍，以致在小液压缸内产生了足够大的压力并传递到大活塞上去顶起重物。

通过该例可以看到液压传动系统的工作原理和特点：（1）通过系统内各部分的容积变化实现传动（故又称为容积式传动）；

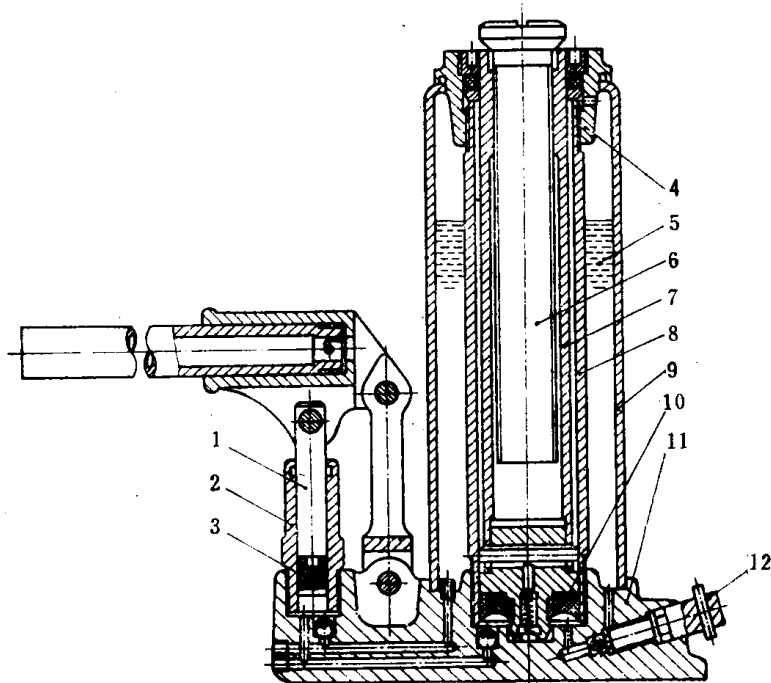


图 1-1 液压千斤顶结构图

- 1—小活塞 2—小液压缸 3—密封圈 4—顶帽 5—液压油  
6—调节螺杆 7—大活塞 8—大液压缸 9—外套  
10—大密封圈 11—底座 12—放油塞

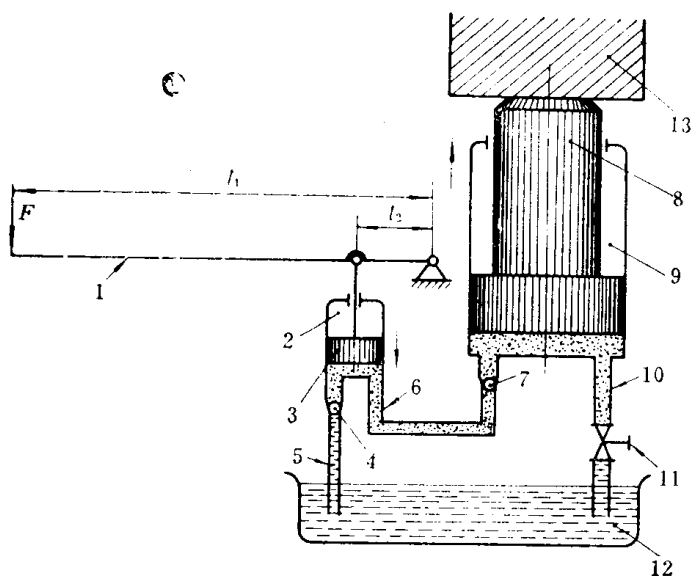


图1-2 液压千斤顶工作原理图

分，图1-3所示磨床工作台液压系统就完整地表现了各组成部分及其作用。

### 1. 动力装置

即液压泵，其作用是向系统提供压力油。从能量观点看，它把原动机输入的机械能转换为输出的油液压力能。

### 2. 控制调节装置

它是控制液压系统中油液的压力，流量和流向的元件，在本例中相应的是指溢流阀13，节流阀4和方向阀6等液压控制元件。

### 3. 执行装置

它的作用是把油液的压力能转换成克服负载做功的机械能，在上例中指的是液压缸8，此外还有做回转运动的液压马达。

### 4. 辅助装置

除上述三大装置以外的油箱，管道，管接头，滤油器，压力表等都称辅助装置，它是液压传动系统不可缺少的组成部分。

(2) 液体是传递动力和信号的工作介质，并以液体的压力能来传递能量；(3) 传动过程中，伴有输入机械能—液体压力能—输出机械能这样的能量顺次转换过程。这三点适用于任何简单的或复杂的液压系统，图1-3所示简化的平面磨床工作台往复运动液压系统也是根据这三点来工作的。

通过以上两例可以看出液压传动系统的组成。液压系统是由若干液压元件组成的总体。以千斤顶来说，手柄—小缸—单向阀4相当于是向系统提供压力油的手动泵，大缸是执行元件，而单向阀7对油液进行了控制。一般液压系统可以分成四个组成部分。

## 二、液压系统图的职能符号

用结构图来表示液压传动系统的工作原理既无必要也很困难。世界各国都普遍采用职能符号来绘制液压传动系统的原理图，我国GB786—76规定了液压及气动元件图形符号，按规定，它仅表示该元件在系统中的职能，而不表示结构。使用这种职能符号可以把图1-3结构原理图以图1-4表示，显然这样更为简单和清楚，但个别复杂之处也允许以局部结构图表示。

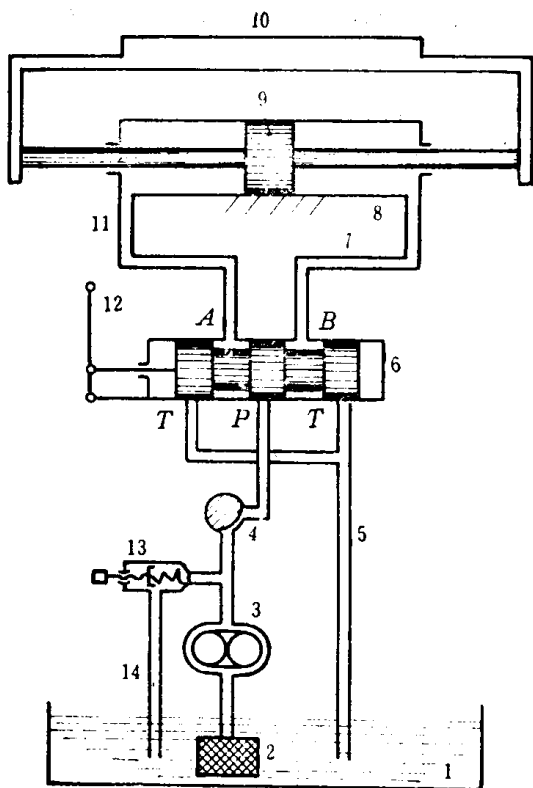


图1-3 平面磨床工作台液压系统结构原理图

1—油箱 2—滤网 3—液压泵 4—节流阀 5—回油管  
6—换向阀 7, 11—管道 8—液压缸 9—活塞  
10—工作台 12—手柄 13—溢流阀 14—吸油管

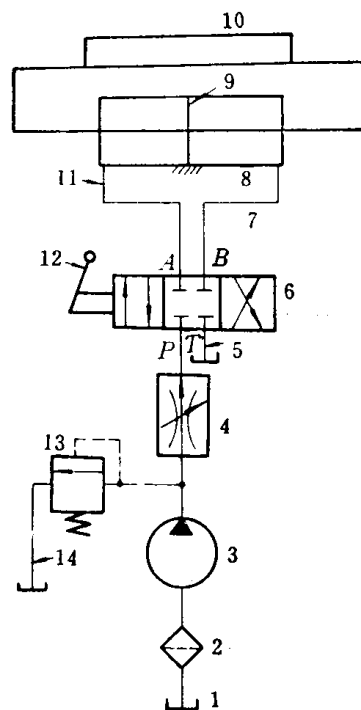


图1-4 用职能符号表示的液压系统原理图

## § 1-2 系统压力取决于负载的概念

液压系统是依靠液体的压力来传递能量的，但压力又是如何产生的？以千斤顶的大液压缸为例。如缸无工作负载（包括摩擦力，自重等），则通入液压缸工作腔的油液可任意推动活塞移动，但因无阻力不会形成压力。若负载不为零，油液因受阻而产生压力相对抗，压力数值逐渐增加，直到克服负载推动活塞后才稳定下来。同理，泵的供油压力取决于输出油液在流动过程中所遇到的负载。显然压力的大小随负载的大小而变化。

结论：液压系统油液的工作压力取决于负载，随负载而有无或增减。

压力取决于负载是个重要的概念。日常生活中，挑空担子时肩上无沉重感；轮胎气足后，使用打气筒（手动气泵）打气越来越费力等，都反映了这个概念。

## § 1-3 液压传动的主要优缺点

液压传动作为一门科学技术所以能够在许多领域得到应用，是由它本身的特点所决定的。与其它传动方式相比较，液压传动有下列特点：

### 1. 主要优点

(1) 能够在较大范围内方便地实现无级变速。调速比可达 100 : 1 至 2000 : 1。

(2) 在相同功率下, 液压传动装置体积较小, 重量较轻。以液压泵与同功率电动机比较, 前者约为后者重量的 $1/5 \sim 1/10$ 。

(3) 工作平稳, 换向时冲击小, 因此便于实现频繁换向。

(4) 便于实现过载保护, 工作油对运动副起自行润滑作用, 这些都有益于提高元件寿命。

(5) 液压元件便于实现系列化, 标准化, 通用化, 因此有利于提高产量和质量, 降低成本。

## 2. 主要缺点

(1) 因为液压传动中压力较高, 各密封处难免有内、外泄漏。泄漏降低了效率, 使机械失去严格的传动比, 而且造成工作环境的污染。

(2) 液压系统一旦出现故障, 不易检查和排除。

(3) 液压传动对温度和负载变化较敏感, 不宜在低温和高温条件下工作; 又因总效率不高, 不能远距离传动。

(4) 由于油中易混入空气等各种原因, 容易产生噪声和低速时运动不平稳现象。

总的来讲, 液压传动优点较多, 而缺点正得到不断改进, 因此有着广阔的发展前途。

## § 1-4 液压传动的应用和发展趋势

液压传动如从1795年第一台水压机诞生算起已有近二百年的历史了。在这样长的时间里, 虽然各种液压元件很早就相继发明, 但由于当时整个工业技术基础薄弱, 缺乏成熟的液压元件, 所以广泛应用液压技术还只是近五十年的事。特别是近三十年来, 由于控制理论的发展, 油液性能的完善以及液压元件的不断改进和创立, 使液压系统的效率, 可靠性大为提高, 其应用日益广泛。

如今, 液压技术几乎已进入每个技术领域。在工程机械、冶金、军工、农机、汽车、轻纺、船舶、石油、航空和机床工业中, 液压技术得到普遍的应用。可以预料, 随着计算机和微电子技术向各个领域的大量渗透, 液压传动技术必然会与之结合, 使自动化逐步向智能化发展。

现代液压传动发展的几个趋向是:

- ①高压, 甚至超高压化;
- ②大流量液压系统的使用;
- ③微进给元件和系统的研制;
- ④低噪声, 长寿命元件的研制;
- ⑤节能元件和节能回路的研制;
- ⑥装置集成化, 控制数字化;
- ⑦高水基液压油的使用;
- ⑧计算机和微电子技术和液压技术的结合。

本教材远未能包括液压技术的全部内容, 通过学习只能对液压传动的基本理论, 工作原理和常用元件有初步了解, 并初步掌握一般液压传动系统的设计方法, 为日后应用液压技术奠定基础。

## 第二章 液压油和液压流体力学基础

液压流体力学是液压传动的理论基础。它虽导源于但又有别于经典的水力学和流体力学。它研究受压的粘性液体在密封的可变容积中的力学规律及有关的一些物理现象。

### § 2-1 液压油

液压油是液压系统传递动力和信号的工作介质，同时又是系统的润滑剂和冷却剂。本节对其主要的物理性质、种类和选用作简略介绍。

#### 一、液压油的物理性质

##### (一) 密度 $\rho$ 和重度 $\gamma$

单位体积油液的质量称为密度  $\rho = dm/dV$ ，对匀质油液  $\rho = m/V$ 。

单位体积油液的重力称为重度  $\gamma = dG/dV$ ，对匀质油液  $\gamma = G/V$ 。显然  $\gamma = \rho g$ 。

式中的 $m$ 、 $G$ 、 $V$ 各代表油液的质量、重量、体积。重力加速度  $g = 9.81 \text{ m/s}^2$ 。

对于国际单位制(SI)，在  $15^\circ\text{C}$  时，一般液压油可取  $\rho = 900 \text{ kg/m}^3$ ， $\gamma = 8.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ 。理论上 $\rho$ 和 $\gamma$ 都随压力增加而增加，随温度升高而减小，但变化很小，实用上可取为常数。

##### (二) 粘性

先观察一个现象(图2-1)：将油液注入玻璃试管中，再滴入带色的相同油液。去掉塞子后液体流动，有色油液在管中逐渐呈抛物线分布。这表明，油液流动时，不同半径的各层油液流速不等，管心处最大，管壁处极小；因此，各液层之间必定存在内摩擦力，阻碍了相对流动。

流体流动时，分子间内摩擦力造成各处流速不等的性质称为粘性。它是由液体分子间的内聚力以及液体和容器壁面间的附着力产生的。

粘度，即粘性系数，是粘性大小的度量。具体地说，根据对这一现象的研究，得出了牛顿液体内摩擦定律，即

$$\tau = \mu \frac{du}{dr} \quad (2-1)$$

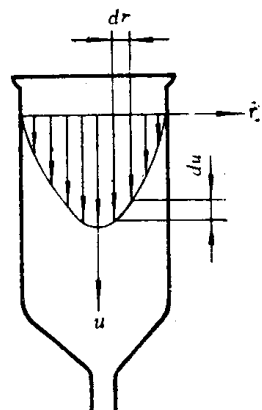


图 2-1 粘性的表现

式中  $\tau$ ——内摩擦切应力，即液体单位面积上的内摩擦力；

$du/dr$ ——速度梯度，即任意两液层相对流速与液层距离的变化率；

$\mu$ ——液体内摩擦系数，即液体的动力粘度。

#### 1. 粘度的三种表示方法

(1) 动力粘度(绝对粘度) $\mu$  它的物理意义是指液体在单位速度梯度下流动时,单位面积上所受的內摩擦力。由上式可推导出 $\mu$ 的量纲是 $F \cdot T/L^2$ 。对SI, $\mu$ 的单位是 $N \cdot s/m^2 = Pa \cdot s$ ,称为帕秒。对cgs制, $\mu$ 的单位是 $P = Dyn \cdot s/cm^2$ (泊=达因·秒/厘米<sup>2</sup>)。因泊单位较大,常采用厘泊 $cP = 10^{-2}P$ 为单位。 $1Pa \cdot s = 10P$ 。

(2) 运动粘度 $\nu$   $\nu = \mu/\rho$ 。比值 $\nu$ 无物理意义,但在分析和计算中经常出现,习惯上也用来表示粘度。 $\nu$ 的量纲是 $L^2/T$ ,具有类似运动学的量,故称运动粘度。其cgs制单位是 $St = cm^2/s$ (斯托克斯,简称斯或施),常用单位是厘斯 $cSt = 10^{-2}St$ 。机械油的牌号即该油在50℃时运动粘度的 $cSt$ 平均值。SI单位则是 $m^2/s = 10^4St = 10^6cSt$ 。

(3) 相对粘度 相对粘度是油液和水的粘度相比数值。由于测量仪器和条件不同,各国相对粘度的含义不同。美国是赛氏粘度SSU;英国是雷氏粘度 $^{\circ}R$ ;我国、德国和苏联采用恩氏粘度 $^{\circ}E$ ,它是一个无单位的量。一般的工厂和实验室,常先测定易于测定的相对粘度,再换算成 $\mu$ 或 $\nu$ 。

恩氏粘度计中部有一容器,可盛放200毫升待测油液。容器周围充水,电热器通过水使油均匀升温到特定温度(如20、50和100℃)。容器底部有一略带锥度,平均直径2.8毫米的短管,打开管塞,使油流出,记下流完时间 $t_1$ ;再让200毫升20℃的蒸馏水流出,若流完时间为 $t_2$ ,则 $t_1/t_2$ 之比称为该油在某特定温度下的恩氏粘度 $^{\circ}E_t$ 。 $t_2$ 称为仪器水值常数,通常取 $t_2 = 51s$ 。

某温度 $^{\circ}E_t$ 与 $\nu$ 间可用下述经验公式换算

$$\nu = 7.31^{\circ}E_t - 6.31/^{\circ}E_t \quad (cSt) \quad (2-2)$$

## 2. 粘度随温度变化的关系(粘温特性)

人们都希望粘度不随温度变化,或变化很小。但系统工作后温度升高,分子间距离增加,粘度随之下落。通过流量阀的流量和系统泄漏增加,破坏了速度稳定性,并使效率下降。粘度对温度变化很敏感,这是液压传动缺点之一。

粘温特性有三种表示方式:

(1) 粘温公式 对于温度为50℃时,运动粘度 $\nu_{50} \leq 76cSt$ 的油,当温度在30~150℃内变化时,可近似用下式来计算 $t$ ℃时的运动粘度 $\nu_t$

$$\nu_t = \nu_{50}(50/t)^n \quad (cSt) \quad (2-3)$$

式中  $n$ ——随粘度变化的指数(表2-1)

(2) 粘度指数(V·I数) 美国等西方国家通常用粘度指数来表示液压油粘温特性的

表2-1 指数 $n$ 随粘度变化的数值

| $\nu_{50} (cSt)$ | 2.5  | 6.5  | 9.5  | 12   | 21   | 30   | 38   | 45   | 52   | 60   | 68   | 76   |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $n$              | 1.39 | 1.59 | 1.72 | 1.79 | 1.99 | 2.13 | 2.24 | 2.32 | 2.42 | 2.49 | 2.52 | 2.56 |

好坏。它表示被试油和标准油粘度随温度变化程度比较的相对值。 $V \cdot I$ 数大表示粘温特性平缓,即变化不大,因而性能好;反之则差。一般液压用油要求 $V \cdot I$ 数在90以上,精制的掺有添加剂的液压油可达100以上。只要知道被试油在特定温度时的运动粘度,利用专门图表可查出其 $V \cdot I$ 值。

(3) 粘温特性图(图2-2) 用法见下例。

**例 2-1** 某液压油在50℃时运动粘度为0.5St, 100℃时为0.2St, 试求该油20℃时粘度。

**解:** 从图 2-2 上50℃点向下引垂线,再由 0.5cm<sup>2</sup>/s 点向右引水平线,两线相交于A<sub>1</sub>点;同样,由100℃向下引垂线,再由0.2cm<sup>2</sup>/s 点向右引水平线,两线相交于B<sub>1</sub>点。连A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>成一直线,然后从20℃向下引垂线交A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>于C<sub>1</sub>点,从C<sub>1</sub>点向左引水平线,即得 20℃时运动粘度为1.05cm<sup>2</sup>/s。

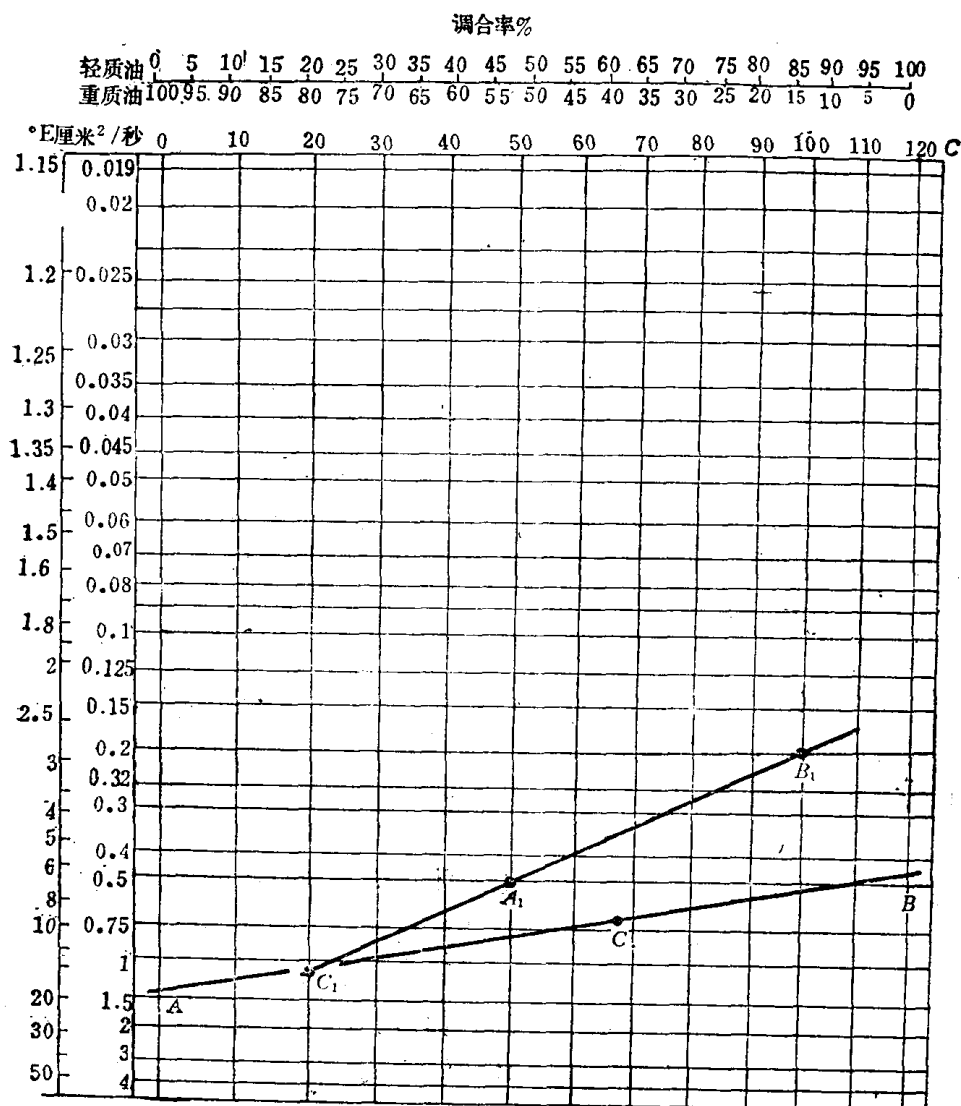


图 2-2 粘温特性图

还有另一种粘温特性图，每一种牌号液压油的粘温特性都用一条曲线表示，从中可以查出任一温度时某牌号液压油的粘度值。对我国新颁标准系列液压油，该粘温特性图暂缺。

### 3. 粘度随压力的变化关系

压力增大时粘度增大，反之减小。但变化较小，对一般液压系统，其影响可略去不计。

### 4. 调合油的粘度

为使液压油具有需要的粘度，可用两种液压油来调合，调合油的粘度也可利用上述图 2-2 查得，查法见下例。