

1  
CENTURY  
21

高等学校教材

机械科学系列

# 液压传动与控制

主编 张利平

*Mechanical  
Science*

西北工业大学出版社



高等学校教材

# 液压传动与控制

张利平 主编

西北工业大学出版社

**【内容简介】**本书共分十章,内容包括:液压流体力学基础、液压泵、液压执行器、液压控制阀、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压传动系统分析、液压传动系统的设计计算、液压控制系统等。书后附录部分编入了常用液压气动图形符号(GB 786.1—1993)、液压技术中常用物理量单位及换算和部分国产液压泵及常规液压阀概览。

本书在体系上按照基础理论—液压元件—基本回路—液压传动系统—液压控制系统的顺序进行论述,以反映学科发展状况并适应读者的认知规律;在内容上深入浅出,图文并茂、资料丰富、新颖详实,力图反映液压传动与控制技术在元件、系统设计分析方法上的一些新发展和新成果,并特别注意加强基础、拓宽专业口径及对读者实践能力的培养。

本书为高等院校机械类专业教材,也可作为各类成人高校、自学考试等机械类学生的基础教材,同时可供工矿企业及科研院所液压传动与控制技术的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

液压传动与控制/张利平主编. —西安:西北工业大学出版社,2005.8  
ISBN 7-5612-1981-4

I. 液… II. 张… III. ①液压传动-高等学校-教材②液压控制-高等学校-教材  
IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 089904 号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路 127 号 邮编:710072 电话:(029)88493844

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:西安兰翔印刷厂

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20.875

字 数:507 千字

版 次:2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定 价:28.00 元

# 前 言

液压传动与控制是机械类专业的一门重要技术基础课。为了顺应高等院校专业及课程调整的趋势,满足教学及教改的需要,及时反映液压传动与控制技术的发展,编者结合多年教学和科研实践经验,在搜集并参考国内外相关资料的基础上,编写了《液压传动与控制》一书。

本书共分为十章。在体系上,本书按照基础理论—液压元件—基本回路—液压系统的顺序进行论述,其中液压传动系统与液压控制系统均单独成章,以突出和强调液压控制的重要性;对于各种液压元件,从其工作原理、典型结构、主要性能、使用场合等方面进行叙述,其中将电液控制阀(含电液伺服阀、比例阀和数字阀)纳入液压控制系统一章中进行叙述。在内容上,为突出重点和共性问题,本书力求深入浅出,条理清楚并便于自学。在选材上,本书力图少而精,并注意反映当代液压传动与控制技术在元件、系统设计分析方法上的一些新发展和新成就,同时,加入较多的传动系统与控制系统实例,以满足机械类不同行业的需要。书中的名词术语和图形符号均采用最新国家标准,书后附有现行液压系统图形符号国家标准、液压技术中常用物理量单位及换算、部分国产液压泵及常规液压阀概览,以便于读者查阅使用。

本书主要作为普通高等院校机械类专业的教科书(40~60学时),也可作为各类成人高校、自学考试等机械类学生的基础教材,同时可供工矿企业及科研院所液压传动与控制技术的工程技术人员参考。

本书由张利平主编,并撰写第一章、第二章、第五章至第十章及附录;宁辰校撰写第三章和第四章的初稿;张利平负责全书的统稿及定稿工作。张津、张秀敏、黄涛等参加了本书的资料搜集、文稿录入整理及部分插图的绘制工作。对于在本书编写出版过程中,给予大力支持与帮助的个人和单位及参考文献的各位作者,编者在此一并表示衷心感谢。

对于本教材存在的错漏及不当之处,欢迎选用本书的广大师生和读者批评指正。

张利平

2005年5月

# 目 录

<b>第一章 概论</b> .....	1
第一节 液压传动的定义 .....	1
第二节 液压传动的工作原理及组成部分 .....	1
第三节 液压系统的类型 .....	5
第四节 液压传动与控制技术的特点及应用 .....	6
第五节 液压技术的发展概况 .....	9
思考题与习题 .....	11
<b>第二章 液压流体力学基础</b> .....	12
第一节 液压系统的工作液体 .....	12
第二节 液体静力学 .....	19
第三节 液体动力学 .....	23
第四节 管道中液流的能量损失 .....	30
第五节 液体流经孔口及缝隙的压力流量特性 .....	34
第六节 液压冲击及气穴现象 .....	41
思考题与习题 .....	44
<b>第三章 液压泵</b> .....	47
第一节 液压泵的功用与基本原理 .....	47
第二节 液压泵的主要性能参数 .....	48
第三节 齿轮泵 .....	50
第四节 叶片泵 .....	54
第五节 柱塞泵 .....	60
第六节 液压泵的选用 .....	64
思考题与习题 .....	65
<b>第四章 液压执行器</b> .....	67
第一节 液压缸 .....	67

第二节 液压马达 .....	76
第三节 摆动液压马达 .....	80
思考题与习题 .....	81
<b>第五章 液压控制阀 .....</b>	<b>82</b>
第一节 液压阀概述 .....	82
第二节 方向控制阀 .....	86
第三节 压力控制阀 .....	113
第四节 流量控制阀 .....	136
第五节 叠加阀与插装阀 .....	146
思考题与习题 .....	154
<b>第六章 液压辅助元件 .....</b>	<b>158</b>
第一节 蓄能器 .....	158
第二节 过滤器 .....	161
第三节 液压油箱 .....	165
第四节 热交换器 .....	170
第五节 管件 .....	172
第六节 压力表及压力表开关 .....	176
第七节 密封装置 .....	177
思考题与习题 .....	180
<b>第七章 液压基本回路 .....</b>	<b>181</b>
第一节 压力控制回路 .....	181
第二节 速度控制回路 .....	187
第三节 方向控制回路 .....	200
第四节 多执行器动作控制回路 .....	203
思考题与习题 .....	208
<b>第八章 典型液压传动系统分析 .....</b>	<b>211</b>
第一节 YT4543 型组合机床动力滑台液压系统 .....	211
第二节 YA32-200 型四柱万能液压机液压系统 .....	214
第三节 高速公路钢护栏冲孔切断机液压系统 .....	218
第四节 JS01 型工业机械手液压系统 .....	220
第五节 油田采油单螺杆泵液压驱动系统 .....	223
第六节 内燃平衡重式叉车液压系统 .....	225
第七节 1m <sup>3</sup> 履带式全液压单斗挖掘机液压系统 .....	227
思考题与习题 .....	230

---

<b>第九章 液压传动系统的设计计算</b> .....	232
第一节 液压传动系统的设计流程.....	232
第二节 明确液压系统的技术要求.....	232
第三节 液压系统的功能设计.....	233
第四节 液压系统的施工设计.....	249
第五节 液压传动系统设计计算示例.....	252
思考题与习题.....	260
<b>第十章 液压控制系统</b> .....	262
第一节 液压控制系统的原理和构成.....	262
第二节 液压控制系统的类型.....	264
第三节 电液控制阀.....	265
第四节 液压控制系统应用实例.....	289
第五节 液压控制系统的动态特性分析.....	304
第六节 液压控制系统的设计简介.....	309
思考题与习题.....	311
<b>附录</b> .....	312
附录 I 常用液压气动元件图形符号(附表 1).....	312
附录 II 液压技术常用物理量单位及换算(附表 2).....	319
附录 III 部分国产液压泵及常规液压阀产品概览.....	320
<b>参考文献</b> .....	325

# 第一章 概 论

## 第一节 液压传动的定义

一部完备的机器都是由原动机、传动装置和工作机三部分组成。原动机(电动机或内燃机)是机器的动力源;工作机是机器直接对外做功的部分;传动装置则是设置在原动机和工作机之间的部分,用于实现动力(或能量)的传递、转换与控制,以满足工作机对力(或转矩)、工作速度(或转速)及位置的要求。

按照传动件(或工作介质)的不同,传动分为机械传动、电气传动、流体传动(液体传动和气压传动)及复合传动等类型。液体传动又包括液力传动和液压传动。液力传动是以动能进行工作的液体传动;液压传动则是以液体作为工作介质,并以压力能进行动力(或能量)的传递、转换与控制的液体传动,它是本书主要介绍的内容。

## 第二节 液压传动的工作原理及组成部分

本节首先以液压千斤顶为例,说明液压传动的工作原理及其两个主要特征,然后介绍液压系统的组成部分及液压系统的图形符号。

### 一、工作原理

如图1-1所示,液压缸1与单向阀3,4一起构成手动液压泵,用以完成吸油与排油。当向上抬起杠杆时,手动液压泵的活塞2向上运动,活塞2的下部容腔a的容积增大形成局部真空,致使排油单向阀3关闭,油箱8中的油液在大气压作用下经油管5顶开吸油单向阀4,进入a腔。当活塞2在力 $F_1$ 作用下向下运动时,a腔的容积减小,油液因受挤压,故压力升高。于是,被挤出的液体将使吸油单向阀4关闭,而使排油单向阀3被顶开,经油管6进入液压缸10的b腔,推动活塞11,使其上移顶起重物(重力为 $F_2$ )。手摇泵的活塞2不断上下作往复运动,重物逐渐被抬高。重物上升到所需高度后,停止活塞2的运动,则液压缸10的b腔内的油液压力将使排油单向阀3关闭,b腔内的液体被封死,活塞11连同重物一起被闭锁不动。此时,截止阀9关闭。如打开截止阀9,则液压缸10的b腔内液体便经油管7流回油箱8,于是活塞11将在自重作用下下移回复到原始位置。



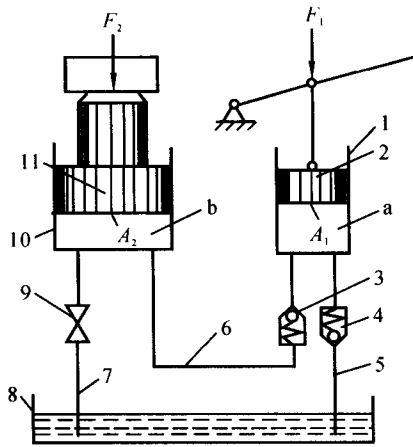


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1,10—液压缸;2,11—活塞;3—排油单向阀;  
4—吸油单向阀;5,6,7—油管;8—油箱;9—截止阀

## 二、工作特征

由上述液压千斤顶的工作原理可知,由液压缸 1 与单向阀 3,4 一起构成的手动液压泵将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出,从而完成吸油与排油;液压缸 10 将油液的压力能转换为机械能输出,以举起重物。手动液压泵和举升重物的液压缸(简称举升液压缸)组成了最简单的液压传动系统,实现了动力(力和运动)的传递与转换。其工作特征如下:

(1) 力的传递靠液体压力实现,系统工作压力取决于负载。现以  $F_2$  表示作用在活塞 11 上的负载力(其大小与输出力相等), $A_2$  表示活塞 11 的面积, $p_2$  表示力  $F_2$  在 b 腔中产生的液体压力;以  $F_1$  表示作用在活塞 2 上的输入力, $A_1$  表示活塞 2 的面积, $p_1$  表示力  $F_1$  在 a 腔中产生的液体压力(液压泵的排油压力),则活塞 11 与 2 的静力平衡方程可分别表示为

$$\left. \begin{aligned} F_2 &= p_2 A_2 \\ F_1 &= p_1 A_1 \end{aligned} \right\} \quad (1-1)$$

如果不考虑管路的压力损失,则液压泵的排油压力(即油腔 a 内的液体压力) $p_1$  与油腔 b 内的液体压力  $p_2$  相等,即

$$p_2 = p_1 = p \quad (1-2)$$

于是,系统的输出力(即所能克服的负载)为

$$F_2 = p_2 A_2 = p_1 A_2 = p A_2 \quad (1-3)$$

由式(1-2)可引出液压传动的第一个工作特征:在系统结构参数(此处为活塞面积  $A_1$  和  $A_2$ )一定的情况下,液压泵的排油压力即系统工作压力  $p_1$  决定于举升液压缸的压力  $p_2$ ,从而决定于负载  $F_2$ 。负载越大,压力越大。

(2) 运动速度的传递靠容积变化相等的原则实现,运动速度取决于流量。如果不考虑液体的压缩性和泄漏损失等因素,则液压泵排出的液体体积必然等于进入举升液压缸的液体体积,即容积变化相等,可表示为

$$x_1 A_1 = x_2 A_2 \quad (1-4)$$

式中  $x_1$ —— 液压泵活塞位移；  
 $x_2$ —— 举升液压缸活塞位移。

式(1-4)两边同除以运动时间  $t$ , 整理后得

$$q_1 = A_1 v_1 = A_2 v_2 = q_2 \quad (1-5)$$

式中  $v_1, v_2$ —— 液压泵活塞和举升液压缸活塞的平均运动速度；  
 $q_1, q_2$ —— 液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

式(1-5)即为运动速度传递的基本方程式。由此可引出液压传动的第二个工作特征：在系统结构参数一定的情况下，运动速度的传递是靠密闭工作容积变化相等的原则实现的。活塞的运动速度取决于输入流量的大小，而与外负载无关。调节进入液压缸的流量  $q_2$ ，即可调节活塞的运动速度  $v_2$ 。

综上所述可看出两点：① 与外负载相对应的液体参数是液体压力，与运动速度相对应的液体参数是液体流量。因此，压力和流量是液压传动中两个最基本的参数。② 如果忽略各种损失，液压传动传递的力与速度彼此无关，所以液压传动既可实现与负载无关的任何运动规律，也可借助各种控制机构实现与负载有关的各种运动规律。

### 三、液压传动装置的组成部分

工程实际应用中的液压传动装置，在液压泵、液压缸的基础上尚需设置控制液压缸运动方向、速度和最大推力的装置，下面以图 1-2 所示的驱动机床工作台的液压系统为例，介绍液压传动的各个组成部分。

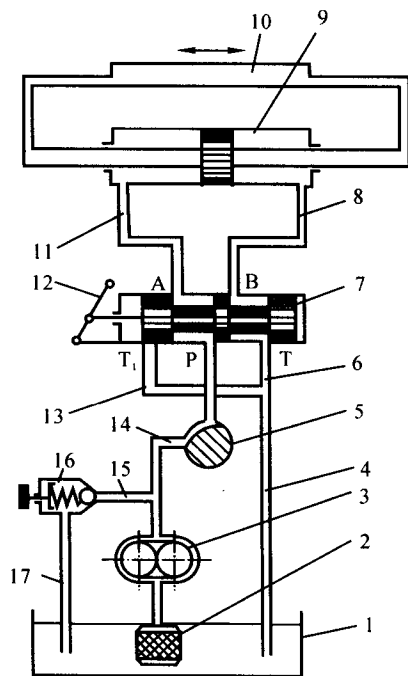


图 1-2 机床工作台液压系统原理结构示意图

1— 油箱；2— 过滤器；3— 液压泵；4, 6, 8, 11, 13, 14, 15, 17— 管路；  
5— 流量控制阀；7— 换向阀；9— 液压缸；10— 工作台；12— 换向手柄；16— 溢流阀

当液压泵 3 由电动机驱动旋转时,从油箱 1 经过滤器 2 吸油。当换向阀 7(有 P, T ( $T_1$ ), A, B 四个油口和三个工作位置)的阀芯处于图 1-2 所示位置时,压力油经管路 14、阀 5、阀 7(P→A)和管路 11 进入液压缸 9 的左腔,推动活塞(杆)及工作台 10 向右运动。液压缸 9 右腔的油液经管路 8、阀 7(B→T)和管路 6、4 排回油箱;通过扳动换向手柄 12 切换阀 7 的阀芯,使之处于左端工作位置,则液压缸活塞反向运动;切换阀 7 的阀芯工作位置,使之处于中间位置,则液压缸 9 在任意位置停止运动。

调节和改变流量控制阀 5 的开度大小,可以调节进入液压缸 9 的流量,从而控制液压缸活塞及工作台的运动速度。液压泵 3 排出的多余油液经管路 15、溢流阀 16 和管路 17 流回油箱。液压缸 9 的工作压力取决于负载。液压泵 3 的最大工作压力由溢流阀 17 调定,其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液流经各类阀和管路的压力损失之和。因此,系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值,溢流阀对系统还有超载保护作用。

从上例可看出,由于液压传动中的工作介质是在受控制和受调节的状态下进行工作,所以液压传动不仅有“传动”之用,而且还有“控制”之用,二者很难完全分开。

液压系统主要由能源装置、执行器、控制调节装置和辅助装置等四个部分组成,各部分的功能如表 1-1 所示,这四个组成部分可以统称为液压元件。液压传动与控制的机械设备或装置中,为了实现其动力的传递、转换与控制要求,若干液压元件连接或复合而成的总体即称为液压系统。

表 1-1 液压系统的组成部分及其功能

组成部分	功 能
源装置(液压泵和原动机)	将原动机(电动机或内燃机)产生的机械能转变为液体的压力能,输出具有一定压力的油液
执行器部分(液压缸、液压马达和摆动液压马达)	将液体的压力能转变为机械能,驱动工作机构的负载做功,用以实现往复直线运动、连续回转运动或摆动
控制调节装置(各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件)	控制调节液压系统中从泵到执行器的油液压力、流量和方向,从而控制执行器输出的力(转矩)、速度(转速)和方向,以保证执行器驱动的主机工作机构完成预定的运动规律
辅助装置(油箱、管件、过滤器、热交换器、蓄能器及指示仪表等)	用来存放、提供和回收液压介质,实现液压元件之间的连接及传输载能液压介质;滤除液压介质中的杂质、保持系统正常工作所需的介质清洁度;系统加热或散热,储存、释放液压能或吸收液压脉动及冲击,显示系统压力、流量和油温等

#### 四、液压系统的图形符号

为了简化液压与气动系统的表示方法,一般采用图形符号来绘制系统原理图,而不采用图 1-2 所示的半结构形式绘制。由于图形符号脱离了液压元件的具体结构,只表示其职能,因

此用来表达系统中各液压元件的作用和整个系统的组成、油路联系和工作原理,简单明了,便于绘制。利用专门开发的计算机图形库软件,还可大大提高液压系统原理图的设计、绘制效率及质量。

我国现行液压系统图形符号标准为 GB 786.1—1993《液压气动图形符号》。在液压系统设计中,必须严格执行这一标准。图 1-3 即为按该标准绘制的图 1-2 所示的液压系统原理图。

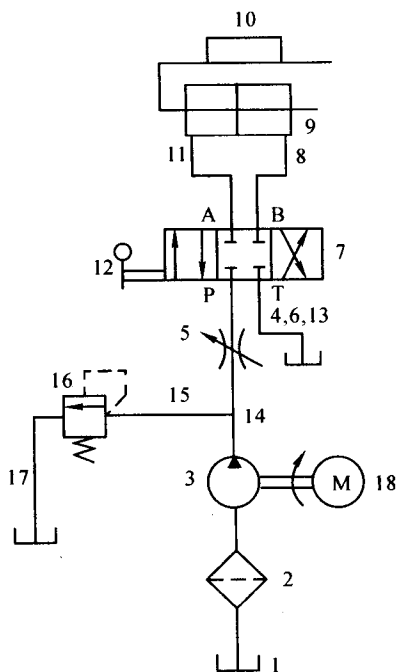


图 1-3 机床工作台液压系统原理结构示意图

1—油箱;2—过滤器;3—液压泵;4,6,8,11,13,14,15,17—管路;  
5—流量控制阀;7—换向阀;9—液压缸;10—工作台;12—换向手柄;16—溢流阀;18—电动机

### 第三节 液压系统的类型

按工作特征和控制方式的不同,液压系统可分为液压传动系统和液压控制系统。液压传动系统通常为开环控制,以传递动力为主,传递信息为辅,追求传动特性的完善;系统的工作特性由各组成液压元件的特性和它们的相互作用来确定,其控制质量受工作条件变化的影响较大,当不能满足正常的工作条件时,甚至无法达到既定的目标。图 1-2 所示的系统即为开环控制的液压传动系统,其原理方块图如图 1-4 所示,系统中的流量控制阀的开度是事先调整好的,无法在工作过程中进行更改。

液压控制系统通常要采用伺服阀等控制阀,且多为闭环控制(见图 1-5),以传递信息为主,传递动力为辅,追求控制特性的完善。由于在系统中加入了检测反馈元件,故可用一般元件组成精确的控制系统,其控制质量受工作条件变化的影响较小。

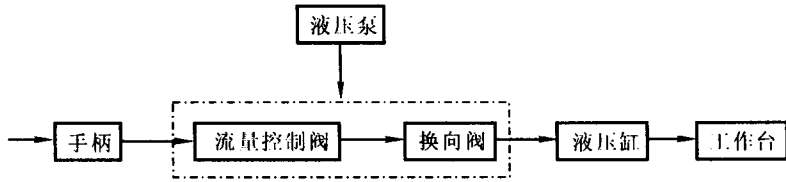


图 1-4 开环控制的液压系统原理方块图

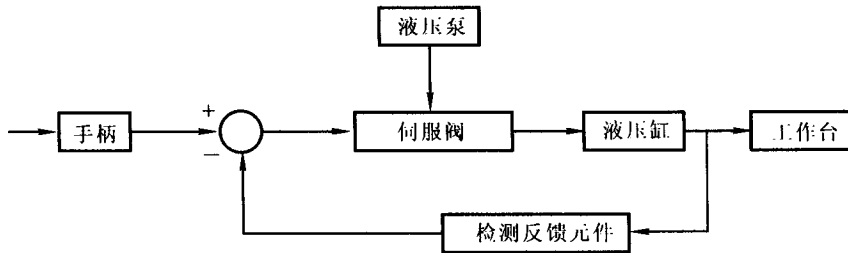


图 1-5 闭环控制的液压系统原理方块图

但是应当指出,随着科学技术的飞速发展和现代机械设备(如兵器、数控机床和航空航天设备等)技术性能要求的不断提高,现代机械设备的动力传递和控制指标都很重要,其液压传动系统和液压控制系统在具体结构上往往融为一体,这时就很难断定这样的系统是传动系统还是控制系统(第十章中的仿形刨床液压系统即为一例),因此上述分类方法并非绝对。

## 第四节 液压传动与控制技术的特点及应用

### 一、液压技术的特点

通过与其他传动控制方式相比较,将液压传动与控制技术的特点总结如下:

#### 1. 优点

(1) 单位功率的质量轻。统计资料表明,液压泵和液压马达单位功率的质量只有发电机和电动机的  $1/10$ ,液压泵和液压马达的可小至  $2.55 \times 10^{-4} \text{ kg/W}$  ( $0.0025 \text{ N/W}$ ),而同等功率的发电机和电动机的则约为  $3.06 \times 10^{-3} \text{ kg/W}$  ( $0.03 \text{ N/W}$ );至于尺寸,前者约为后者的  $12\% \sim 13\%$ 。这些特点有利于机械设备及其控制系统的微型化、小型化。

(2) 布局灵活方便。液压元件的布置不受严格的空位置限制,容易按照机器的需要通过管道实现系统中各部分的连接,且其布局安装具有很大的柔性,能构成用其他方法难以组成的复杂系统。

(3) 调速范围大。液压传动可以在运行过程中实现大范围的无级调速,调速范围可达  $2000$ 。

(4) 工作平稳、快速。由于油液具有弹性,可吸收冲击,故液压传动传递运动均匀平稳,易于实现快速启动、制动和频繁换向。往复回转运动的换向频率可达  $500 \text{ 次/min}$ ,往复直线运动的换向频率则高达  $1000 \text{ 次/min}$ 。

(5) 易于操纵控制并实现过载保护。液压系统操纵控制方便,易于实现自动控制、远距离遥控和过载保护;运转时可自行润滑,有利于散热和延长使用寿命。

(6) 自动化和机电液一体化。液压技术容易与电气、电子控制技术相整合,组成机电液一体化的复合系统,实现自动工作循环。

(7) 易于实现直线运动。用液压传动实现直线运动比机械传动简便易行。

(8) 液压系统设计、制造和使用维护方便。液压元件属于机械工业基础件,已实现了标准化、系列化和通用化,因此,对液压系统的设计、制造和使用维护都较方便,有利于缩短机器设备的设计制造周期并降低制造成本。

## 2. 缺点

(1) 不能保证定比传动。由于液体的压缩性和泄漏等因素的影响,液压技术不能严格保证定比传动。

(2) 传动效率偏低。传动过程中,需经两次转换,常有较多的能量损失,因此传动效率偏低。

(3) 工作稳定性易受温度影响。液压系统的性能对温度较为敏感,不宜在过高或过低温度下工作,在采用石油基液压油作传动介质时还需注意防火问题。

(4) 造价较高。液压元件制造精度要求较高,为防止和减少泄漏造价相应的也就较高。

(5) 故障不易诊断。液压元件与系统容易由液压油液污染等原因造成系统故障,且出现的故障不易诊断。

## 二、液压技术的应用

液压传动与控制以其独特的技术优势,成为现代机械工程的基本技术构成和现代控制工程的基本技术要素,并在国民经济各行业得到了广泛应用,表1-2列举了近年来液压传动与控制技术的大量应用实例。

表 1-2 液压传动与控制技术的应用实例

应用领域	应 用 实 例
金属材料工程	铸造机械(铸造生产线震实台、离心铸造机等);金属成形设备(模锻液压机、棒料折弯机、板料剪切机、下料机、皮带轮辊轧机、铜铝屑压块机);焊接设备(焊条压涂机、自动缝焊机、摩擦焊接机等);热处理设备(各类淬火机及上下料机械手、淬火炉工件传送机等)
机床与汽车工业	金属切削机床(自动车床、组合铣床、仿形刨床、平面及外圆磨床、数控刃磨机床、深孔钻床、金刚镗床、拉床、深孔珩磨机床、带锯机床、冲床等);汽车摩托车制造设备(轿车座椅泡沫生产线、汽车皮带轮旋压机、发动机气缸体加工机床、摩托车车轮压窝冲孔机、发动机连杆销压装机、汽车大梁生产线铆接机、无内胎铝合金车轮气密性检测机、汽车零部件试验台)
电力与煤炭行业	电力行业(电站锅炉蛇形管弯管机、火电厂大型烟囱顶升设备、变压器绝缘纸板热压成形机组、高压输电线间隔棒振摆试验机、电力导线压接钳等);煤炭工业(煤矿多绳绞车、卸煤生产线定位机车、煤矿液压支架及其高压检测实验台等)

续 表

应用领域	应用实例
石油天然气探采与化工机械	石油天然气探采机械(自升式海洋石油钻井平台、石油钻机、各类抽油机及修井机、绞车、输油管道阀门启闭装置、捞油车、油田管材矫直机及管线试压装置等);化工机械(注塑机、吹塑挤出机、橡胶平板硫化机、琼脂自动压榨机、催化剂高压挤条机、乳化炸药装药机、集装箱塑料颗粒倾卸机等)
冶金工业	冶炼轧制设备(炼铁高炉液压泥炮、中频无心感应熔炼炉、轧机及板坯连铸机、热浸镀模拟试验机等);冶金产品整理(高速线材打捆机、卷材小车、带材导向器、钢管锯机及平头倒棱机、打号机、铝型材连续挤压生产线等);冶金企业环保设备(钢厂废水处理自动压滤机等)
铁路和公路运输行业	铁路运输业(铺轨机、路基渣石边坡整形机、钢轨电极接触面磨光机、铁道轮对轴承压装机等);公路运输业(汽车维修举升机、高速公路钢护栏冲孔切断机、地下汽车库升降平台、隧道工程衬砌台车、公交汽车、汽车刹车皮铆钉机、架桥机等)
建材与建筑行业	建材行业(卫生瓷高压注浆成形机、石材废料模压成形机及石材连续磨机、墙地砖压机、免烧粉煤灰制砖机、复杂圆柱曲面石材加工机、大理石加工激振系统等);建筑行业(钢筋弯箍机及自动校直切断机、混凝土泵、液压锤、冲击式液压碎石器、自动打桩机等)
工程机械与农林牧机械	工程机械(沥青道路修补车、重型多轴挂车、道路剐冰清雪机、越野起重机、起重高空作业车、冲击压路机、公路养护车、“穿地龙”机器人、各类挖掘机械等);农林牧机械(联合收割机、玉米及谷物收割机、拖拉机、林木球果采集机器人、饲料压块机、青饲料储藏切割机)
家用电器与五金行业	家电行业(显像管玻壳剪切机、电冰箱压缩机电机转子叠片机、冰箱箱体折弯机、电冰箱内胆热成形机、制冷热交换器 U 形管自动成形机等);五金行业(制钉机、工具锤装柄机、门锁整体成形压机等)
轻工纺织机械	轻工机械(表壳热冲压成形机、煮糖罐搅拌器、蔗糖生产用自动板框式压滤机、皮革熨平机、原木削片输送机、人造板热压机、弯曲木家具多向压机、纸张复卷机、植物纤维餐具成型机、竹制静菜盘成形机、骨肉分割机等);纺织机械(经轴装卸车、纺丝机、印花机、冷压堆卷布机、毛呢罐蒸机、自动卷染机、织物后整理轧光机等)
航空航天工程、河海工程、武器装备	航空航天工程(飞机机轮轴承清洗补油装置、飞机包伞机、飞机场地面设备、飞机起落架收放试验车、卫星发射设备等);河海工程(河流穿越设备、水槽不规则造波机、舵机、深潜救生艇对接机械手、水下机器人及钻孔机、船舰模拟平台、波浪补偿起重机等);武器装备(炮塔仰俯装置、大型炮弹底螺拆卸机、地空导弹发射装置、枪管旋压机等)
计量质检与特种设备	计量与产品质量检验设备(标准动力源装置、万能试验机、商品出入境检验试验机、墙体砖及砌块试验机、木材力学试验机等各种产品质量检验设备);特种设备(液压电梯、纯水灭火机等)
公共设施及环保设备	公共设施(循环式客运索道、广播电视塔天线桅杆提升装置、大型剧院升降舞台、各类游艺机、自动捆钞机、磁卡层压机、医用牵引床、X 光机隔室透视站位等);环保设备(垃圾压实车、垃圾破碎机和压榨机、污泥自卸车等)

## 第五节 液压技术的发展概况

### 一、液压技术的发展简史及趋势

从公元前 200 多年前到 17 世纪初这一段时期,希腊人发明的螺旋提水工具和我国出现的水轮等都可以说是液压技术最古老的应用。

17 世纪至 19 世纪期间,欧洲人在液体力学、液体传动方面做出了重要贡献,例如,1648 年法国的 B. 帕斯卡(B. Pascal) 提出的液体中压力传递的基本定律,1681 年 D. 帕潘(D. Papain) 发明的带安全阀的压力釜,1850 年英国工程师威廉姆·乔治·阿姆斯特朗(William George Armstrong) 发明的液压蓄能器,19 世纪中叶英国工程师佛莱明·詹金(F. Jinken) 发明的世界上第一台差压补偿流量控制阀,1795 年英国人约瑟夫布瑞玛(Joseph Bramah) 申请的第一台液压机的英国专利等。这些贡献与成就为 20 世纪液压传动与控制的发展提供了科学与工艺基础。

19 世纪在工业中所使用的液压传动装置是以水作为工作介质,因其密封问题一直未能得到很好的解决及电气传动技术的发展和竞争,导致液压技术一度停滞不前。此种情况在 1905 年美国詹涅(Janney) 首先将矿物油代替水作液压介质后才有所改观。20 世纪 30 年代后,由于车辆、航空、舰船等功率传动技术的推动,相继出现了斜轴式及弯轴式轴向柱塞泵、径向和轴向液压马达。1936 年 Harry Vickers 发明了以先导控制压力阀为标志的管式系列液压控制元件。第二次世界大战期间,由于军事上的需要,出现了以电液伺服系统为代表的响应快、精度高的液压元件和控制系统,从而使液压技术得到了迅猛发展。

20 世纪 50 年代,随着战后世界各国经济的恢复和发展,生产过程自动化的不断增长,液压技术很快转人民用工业,特别在机械制造、起重运输机械及各类施工机械、船舶、航空等领域得到了广泛的发展和运用。同期,德国阿亨工业大学(TH Aachen) 在仿形刀架方面,美国麻省理工学院(MIT) Blackburn, Lee 及 Shearer 等学者在电液伺服阀方面的研究取得了很大进展(出版了著名的《液压气动控制》一书)。这些成果乃至先前 Harry Vickers 发明的先导式压力控制阀结构至今仍为全世界各国所采用。

20 世纪 60 年代以来,随着原子能、航空航天技术、微电子技术的发展,液压技术也在更深更广阔的领域得到了发展。60 年代出现了板式、叠加式液压阀系列,发展了以比例电磁铁为电气-机械转换器的电液比例控制阀,并被广泛用于工业控制中,提高了电液控制系统的抗污染能力和性能价格比;70 年代出现了插装式系列液压元件;80 年代以来,液压技术与现代数学、力学和微电子技术、计算机技术、控制科学等紧密结合,出现了微处理机、电子放大器、传感测量元件和液压控制单元相互集成的机电一体化产品(如美国 Lee 公司研制的微型液压阀等),提高了液压系统的智能化程度和可靠性,并应用计算机技术开展了对液压元件和系统的动静态性能数字仿真及结构的辅助设计和制造(CAD 和 CAM)。随着科学技术的进步和人类环保、能源危机意识的提高,近 20 年来人们重新认识并研究了历史上以纯水作为工作介质的纯水液压传动技术,使其在理论上和应用研究上都得到了复苏,并持续稳定地发展,也因此逐渐成为现代液压传动技术中的热点技术(Emerging Technology) 和新的发展方向之一。

液压技术的应用领域也不断拓展,几乎囊括了国民经济的各个部门(见表 1-2)。21 世纪将



是信息化、网络化、知识化和全球化的时代,IT 技术、生命科学、生物技术和纳米技术等新科技的不断发展将对液压传动与控制技术的研究、设计观念及方法,对包括液压传动与控制元件的结构与工艺,对其应用领域以及企业的经营管理模式产生深刻影响并导致革命性变化。在社会和工程需求的强力推动及机械与电气传动及控制的挑战下,液压传动与控制技术将依托机械制造、材料工程、微电子及计算机、数学及力学、控制科学等方面,不断发挥自身优势,满足客观需求,从而向更为绿色化(低污染、低噪声、低能耗)、机电液一体化、高度集成化和模块化、智能化和网络化的方向发展,将自身提高到新的水平。

## 二、我国液压技术的发展及现状

我国的液压技术是随着新中国的建立发展而发展起来的。从 1952 年上海机床厂试制出我国第一只液压元件——齿轮泵——至今,其大致经历了创业奠基、体系建立、成长发展、引进提高等几个发展阶段。

20 世纪 50 年代初期,我国没有专门的液压元件制造厂,许多机床厂的液压车间都是自产自仿用的液压元件,其结构及性能仅相当于国际上 20 世纪 40 年代的水平。1959 年国内建立了首家专业化液压元件厂——天津液件厂。

进入 20 世纪 60 年代,液压技术的应用从机床逐渐拓展到了农业机械和工程机械等领域。为了解决仿苏产品品种单调、结构笨硕和性能落后等问题,并满足日益增长的主机行业的需要,我国的液压工业从仿制开始走向了自行开发设计的道路。1965 年,为适应液压机械从中低压向高压方向的发展,建立了榆次液件厂,并引进了日本油研公司公称压力为 21 MPa 的中高压系列液压阀及其全部制造加工和试验设备,同时还引进了多种液压元件国外样机,并组织测绘仿制。1966—1968 年间联合开发设计了公称压力为 2.5 MPa 和 6.3 MPa 的中低压系列液压元件。60 年代中后期我国还成功研制了喷嘴挡板式电液伺服阀,完成了高压轴向柱塞泵的系列设计。60 年代末 70 年代初,随着生产机械化的发展,特别是在为第二汽车制造厂等主机企业提供高效、自动化设备的需求带动下,液压元件制造业出现了迅速发展的局面,一批中小企业也成为液件专业制造厂。1968 年我国液压元件年产量已接近 20 万件。至此,一个独立的液压元件制造工业的体系已基本形成。

20 世纪 70 年代,在高压液压阀品种规格逐渐增多的情况下,为了实现标准化、系列化和通用化,从而扩大品种,提高质量,追赶国际先进水平,1973 年国家组织建立了液压阀联合设计组,完成了我国公称压力为 32 MPa 的高压阀新系列图纸的设计,并使安装连接尺寸与国际相应有关标准得到了统一。20 世纪 70 年代期间,还相继开发研制成功了电液比例溢流阀、电液比例流量阀、JK 系列液压集成块、QDY2 型电液伺服阀及 DYM 型电液脉冲马达、插装阀及其液压系统、摆线转子泵及皮囊式蓄能器等液压产品。可以说,70 年代是我国液压元件品种迅速增多的时期。

进入 20 世纪 80 年代,随着国家改革开放和机械工业的发展,为了解决基础件滞后于主机的矛盾,国家将原分散在不同行业归口的液压专业厂,统一划归原机械部通用基础件局管理,从而使该行业在规划、投资、引进技术和科研开发等方面得到集中的指导和支持,从此,我国液压技术进入了快速发展期。先后引进了包括原西德 Rexroth 公司、美国 Vickers 公司在内的多项先进液压技术,经消化吸收和技术改造,现均已实现产品的批量生产,其产品也成为行业的主导产品。近几年,在国家多种所有制共同发展的方针指引下,不同所有制的中小企业迅速崛