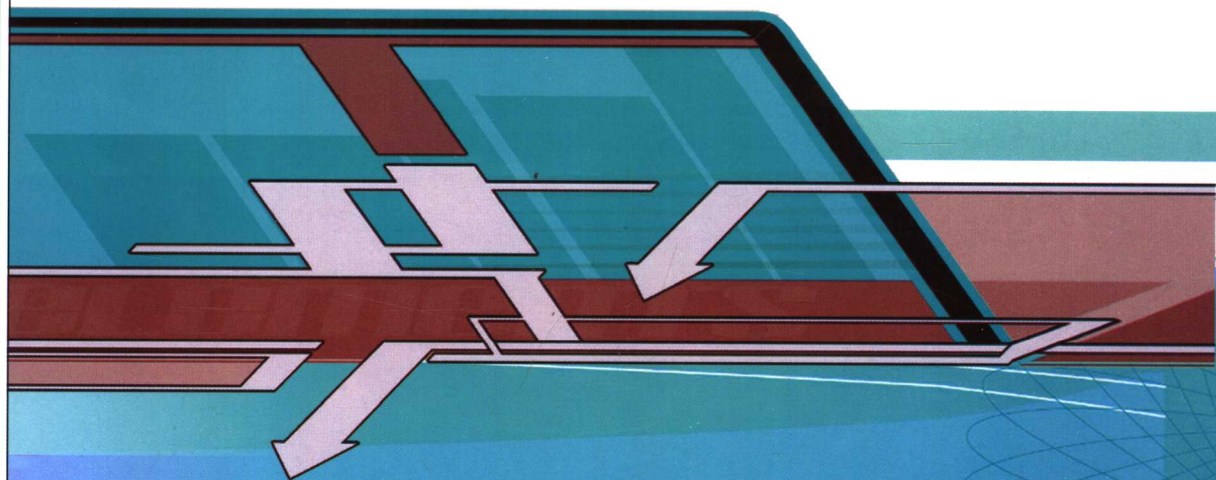




普通高等学校“十一五”规划教材

液压传动系统

主编 许贤良 王传礼



国防工业出版社

National Defense Industry Press

TH137/154

2008

普通高等学校“十一五”规划教材

液压传动系统

主 编 许贤良 王传礼
副主编 邓海顺 陈加胜 朱玉川
参 编 王丽凤 王 伟 李传奇 傅丽莹

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书较系统地介绍了液压传动系统的工作原理、组成及典型液压回路,分析了工程常用的液压回路,对典型液压元件的静态、动态特性进行了详细的分析,在此基础上,对典型的液压回路的动态特性也做出了分析。本书在介绍基本概念和基本原理的基础上,突出其工程实用,旨在提高学生的设计水平。

本书可作为高等工科院校机械工程类专业教材,还可供工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动系统/许贤良,王传礼主编. —北京:国防工业出版社,2008.5

普通高等学校“十一五”规划教材

ISBN 978-7-118-05602-0

I. 液... II. ①许...②王... III. 液压传动—高等学校—教材 IV. TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 021774 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

新艺印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 字数 296 千字

2008 年 5 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 23.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)68428422

发行邮购:(010)68414474

发行传真:(010)68411535

发行业务:(010)68472764

前 言

液压传动系统是高等学校流体传动与控制专业的一门专业课,同时也是机械学科及相近学科高年级学生的一门选修课,是液压传动理论的深化和延续。尽管液压传动是高等学校机械学科及相近学科的一门专业(技术)基础课,但课时较少(一般 40 学时上下),只能讲授液压元件、液压基本回路和简单液压系统的基本知识,对液压元件或系统特性的分析是静态的。学生对液压系统的设计感到力不从心,因为液压系统的设计不仅是原理性和静态设计,还需对动态性能做出评价。液压传动系统正是为弥补这一缺憾而设立的,这正是编写本教材的目的。

本书共分 6 章:绪论,液压回路,典型液压系统分析,管道和液压元部件动态特性,液压系统动态特性,液压系统的设计。尽管在液压传动课程对液压回路的内容作了相当篇幅的介绍,但保留这一内容仍是必要的。而从内容取舍上,主要为液压系统的分析做准备,突出实用性和新颖性,分散后续内容的难点。对液压系统的取舍,尽可能考虑对不同专业的适用性。在动态特性分析部分,对管路特性、部件特性和回路特性作了较多的分析。该部分内容不仅是液压系统设计所必需的,同时为液压系统的研究奠定了理论基础。

本书由安徽理工大学和南京航空航天大学编写,许贤良任主编并负责全书规划和统一定稿工作。具体分工是,许贤良编写第 1、6 章,王传礼编写第 2 章,邓海顺编写第 3 章,陈加胜编写第 4 章,朱玉川编写第 5 章,王丽凤、王伟、李传奇、傅丽莹参加部分章节编写并负责图形、表格制作和文字处理工作。本书初稿蒙浙江大学丁凡教授审阅,对内容取舍提出了许多建设性意见。在本书编写过程中,得到安徽理工大学和南京航空航天大学的大力支持,在此一并致谢。由于作者水平所限,本书难免有缺点和错误,诚请读者批评指正。

目 录

第1章 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 液压传动	1
1.1.2 液压传动系统与液压伺服系统	1
1.2 液压传动工作原理、组成及作用	2
1.2.1 液压传动的工作原理	2
1.2.2 液压传动系统的组成及作用	4
1.2.3 液压传动系统的图示方法	5
1.3 液压传动的特点及应用	6
1.3.1 液压传动的主要优点	6
1.3.2 液压传动的主要缺点	6
1.3.3 液压传动的应用	7
1.4 液压技术发展简史及趋势	7
1.4.1 液压技术发展简述	7
1.4.2 液压技术的发展趋势	8
思考题	9
习题	10
第2章 液压回路	11
2.1 方向控制回路	11
2.1.1 连续换向回路	11
2.1.2 双向液压泵换向回路	14
2.1.3 定向回路	14
2.2 液压马达控制回路	15
2.2.1 液压马达制动回路	15
2.2.2 液压马达串并联回路	16
2.2.3 液压马达缓冲回路	17
2.3 液压泵控制回路	18
2.3.1 双泵或多泵流量控制回路	18
2.3.2 定量泵压力适应和多级压力控制回路	19
2.3.3 变量泵功率控制回路	22
2.4 过滤、冷却、热交换和补油回路	27
2.4.1 过滤回路	27

2.4.2	冷却回路	28
2.4.3	热交换和辅助补油回路	29
2.5	插装阀回路	30
2.5.1	插装阀概述	30
2.5.2	插装阀用作方向控制阀	31
2.5.3	插装阀用作压力控制阀	34
2.5.4	插装阀用作流量控制阀	35
2.5.5	复合功能的插装阀回路	35
第3章	典型液压系统分析	37
3.1	液压系统的分类及阅读的基本方法	37
3.1.1	按液体循环方式分类	37
3.1.2	按执行元件类型分类	39
3.1.3	按系统的回路组合方式分类	40
3.1.4	液压系统阅读的一般方法	42
3.2	压力机液压系统	44
3.2.1	概述	44
3.2.2	液压系统工作原理	44
3.2.3	液压系统的特点	47
3.2.4	YB32-200 型压力机液压系统简介	47
3.3	磨床液压系统	49
3.3.1	概述	49
3.3.2	平面磨床液压系统	49
3.3.3	万能外圆磨床液压系统	53
3.3.4	磨床液压系统的特点	55
3.4	汽车起重机液压系统	56
3.4.1	概述	56
3.4.2	QY-8 型汽车起重机液压系统工作原理	56
3.4.3	QY-40 型汽车起重机液压系统原理	59
3.4.4	汽车起重机液压系统的特点	65
3.5	单斗液压挖掘机液压系统	66
3.5.1	概述	66
3.5.2	典型液压系统	67
3.5.3	挖掘液压系统的特点	73
3.6	塑料注射成型机液压系统	75
3.6.1	塑料注射成型机组成和注塑工作程序	75
3.6.2	SZ-250A 型注塑机液压系统	75
3.6.3	注塑机液压系统的特点	80
	习题	81
第4章	管道和液压元部件动态特性	83

4.1	管道动态特性	83
4.1.1	集中参数法	83
4.1.2	分布(散)参数法	84
4.1.3	动态特性分析实例	85
4.2	液压泵动态特性	86
4.2.1	定量叶片泵的动态特性	86
4.2.2	外反馈限压式变量叶片泵的动态特性	88
4.2.3	例题	92
4.3	执行元件动态特性	94
4.3.1	对称液压缸动态特性	94
4.3.2	非对称液压缸	99
4.3.3	液压马达的动态特性	100
4.3.4	几个问题说明	101
4.3.5	例题	102
4.4	滑阀控制的对称执行元件动态特性	105
4.4.1	基本方程和传递函数	105
4.4.2	动态特性分析	108
4.4.3	阀控液压马达部件	109
4.5	液压阀分析基础	109
4.5.1	薄壁节流孔口的特性	110
4.5.2	滑阀阀芯上的液压力	111
4.5.3	锥阀特性分析	115
4.6	溢流阀动态特性	117
4.6.1	流量连续方程	117
4.6.2	力平衡方程	119
4.6.3	方框图和传递函数	120
4.6.4	动态特性分析	121
4.7	调速阀动态特性	122
4.7.1	调速阀结构原理	122
4.7.2	动态平衡方程	123
4.7.3	方框图和传递函数	124
4.7.4	调速阀动态特性分析	127
4.7.5	例题	128
	习题	129
第5章	液压系统动态特性	134
5.1	节流调速系统动态特性分析	134
5.1.1	概述	134
5.1.2	进油路节流调速系统分析	136
5.1.3	动态方程和传递函数	142

5.1.4	主要动态特性分析	145
5.1.5	回油路节流调速系统分析	146
5.1.6	旁路节流调速系统分析	147
5.1.7	三种节流调速系统的特点	149
5.2	容积调速系统动态特性分析	158
5.2.1	概述	158
5.2.2	静态特性分析	159
5.2.3	动态特性分析	164
5.3	蓄能器回路分析	174
5.3.1	容积和压力基本计算	174
5.3.2	吸收液压冲击的蓄能器 V_1 的选择	175
5.3.3	吸收压力脉动的蓄能器回路分析	177
	习题	183
第 6 章	液压系统的设计	188
6.1	液压系统的设计内容和步骤	188
6.2	液压系统设计计算实例	190
6.2.1	负载与运动分析	190
6.2.2	确定液压缸参数	192
6.2.3	拟定液压系统图	193
6.2.4	液压元件、辅件的选择	194
6.2.5	液压系统主要性能验算	196
	参考文献	200

第1章 绪 论

1.1 概 述

1.1.1 液压传动

以封闭在管路中的受压流体为工作介质进行能量转换、传递、控制和分配的传动方式称流体传动。如果工作介质为液体（通常为液压油）则称液压传动；如果工作介质为气体则称气压传动。不加特别说明，默认流体为液体。

研究流体管路中液体能量转换、传递、控制和分配的学科称流体传动与控制技术（液压传动与控制技术）。它是利用液体的静压能工作的，又称容积式静压传动，或静压传动，简称液压。

1.1.2 液压传动系统与液压伺服系统

液压系统的概念可根据液压传动的定义而类似定义为：以密闭在管路中的受压液体为工作介质，进行能量转换、传递、控制和分配的传动系统。液压系统的另一定义为：由若干液压元件、管路和辅件组成，以完成一定工作的整体。液压传动是与机械传动、电力传动并列的三种传动方式，液压系统是与机械系统、电力系统并列的三种动力系统。根据液压系统中所用的控制元件不同，液压系统可分为液压传动系统和液压控制系统。液压传动系统使用的控制元件为常规开关式液压控制阀，液压控制系统又分为程序控制系统、逻辑控制系统和液压伺服控制系统（或液压伺服系统，即随动控制系统）。通常将液压控制系统与液压伺服系统视为同一概念。液压伺服系统使用的控制元件为液压伺服阀或伺服变量泵（马达）。正是在这一点上，将两者区分开来。事实上，两种系统构成元件很多是相同的，二者又是密不可分的。从系统构成看两者的区别又是明显的。液压传动系统和液压伺服系统结构如图 1-1 和图 1-2 所示，读者可从中领悟两者的差别。从控制理论角度看，液压传动系统为开环控制系统，系统的精度决定系统的构成元件，发生偏差不可控制和调节。液压伺服系统为闭环控制系统，反馈控制是其精髓所在，可使被控目标符合人们的期望值。

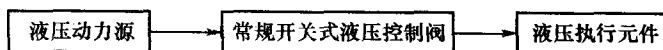


图 1-1 液压传动系统方块图

从研究内容和方法上，两种系统也有较大的差别，液压传动系统偏重研究元件和系统的结构原理与静态（稳态）特性，而对动态特性研究较少；液压伺服系统，偏重研究元件和系统的动态特性，但包含对静态特性的研究。在研究方法上，液压传动系统的特

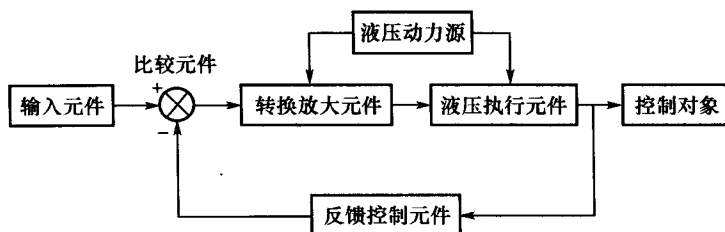


图 1-2 液压伺服系统方块图

性是用静态性质的方程描述的，而液压控制系统的特性是用动态（时域）微分方程或传递函数或状态空间方程描述的，尤其注重动态过程的研究。

总之液压传动系统与液压伺服系统，既互相区别，又互相联系，为液压技术的两大分支。

1.2 液压传动工作原理、组成及作用

1.2.1 液压传动的工作原理

液压传动工作原理可用图 1-3 所示的液压千斤顶工作原理来说明。图中缸体 3 和柱塞 4 组成提升液压缸；杠杆 5、缸体 6、柱塞 7 和单向阀 8、9 组成手摇动力缸；2 为控制阀；10、11 和 1 分别为管道和油箱。当手摇动力缸柱塞 7 向上运动时，油腔 A 密封容积变大，压力降低，形成局部真空，油箱 1 中的油液在大气压力作用下，顶开单向阀 8，经吸油管道 11 进入 A 腔。当手摇动力缸柱塞 7 向下运动时，A 腔油液受挤压，压力升高，迫使单向阀 8 关闭，单向阀 9 被打开而向 B 腔输送压力油，推动柱塞 4 上移，使负载 G 的位置升高。手摇动力缸柱塞 7 动作快，重物 G 升高就快。如果杠杆 5 停止动作，B 腔油液压力迫使单向阀 9 关闭，重物 G 停止在新的位置上。如果打开控制阀 2，则 B 腔中油液经阀 2 流回油箱 1，重物 G 在重力作用下下降。阀 2 开度大，重物 G 下降快。

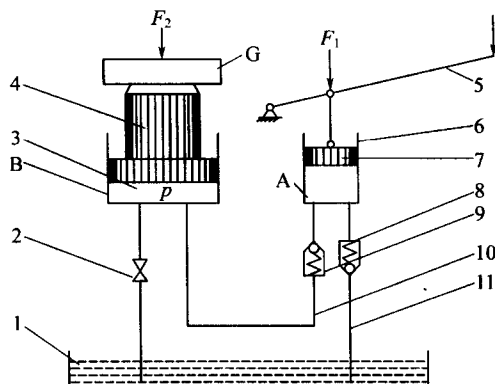


图 1-3 油液液压千斤顶工作原理图

1—油箱；2—控制阀；3、6—缸体；4、7—柱塞；5—杠杆；8、9—单向阀；10、11—管道。

由液压千斤顶工作原理可以看出,手摇动力缸(泵)的作用是将输入的机械能变成液体的压力能,利用密闭管路传递到提升缸,提升缸消耗液体压力能而做功(举起重物)。在这种能量转换和传递过程中,遵循如下基本原理。

1. 帕斯卡(Pascal)原理

帕斯卡静压传递原理即“施加于密封容器内平衡液体中的某一点的压力等值地传递到全部液体”,在图 1-3 所示的液压千斤顶中,不计管路和阀口损失,手摇动力缸和提升缸两腔的液体压力 p 相等。因此有

$$F_1/A_1 = p_1 = p = p_2 = F_2/A_2 \quad (1.2-1)$$

或者

$$F_2 = PA_2 = F_1 A_2 / A_1 \quad (1.2-2)$$

式中 A_1, A_2 ——柱塞 7、4 的面积;

F_1, F_2 ——柱塞 7、4 上的作用力;

p ——液压的静压力。

2. 液体连续性原理

如果不考虑液体的可压缩性及泄漏和构件的变形,则图 1-3 中小柱塞 7 下行挤压出的液体的体积等于推动大柱塞 4 上升的液体体积。即

$$A_1 ds_1 = A_2 ds_2 = dV \quad (1.2-3)$$

或者

$$A_1 \frac{ds_1}{dt} = A_2 \frac{ds_2}{dt} = \frac{dV}{dt} \quad (1.2-4)$$

$$A_1 u_1 = A_2 u_2 = Q \Rightarrow u_2 = \frac{Q}{A_2} = \frac{A_1}{A_2} u_1 \quad (1.2-5)$$

式中 u_1, u_2 ——分别为小柱塞和大柱塞的运动速度; $u_1 = ds_1/dt$, ds_1 为小柱塞的位移;
 $u_2 = ds_2/dt$, ds_2 为大柱塞位移。

Q ——管路中或大小柱塞腔的流量,指的是单位时间内通过过流断面的体积,即体积流量,简称流量。本书中无特别说明的流量即指体积流量; $Q = dV/dt$, dV 为小柱塞腔输出或大柱塞腔输入的液体的体积; dt 为时间。

上式表明,在流量一定的情况下,大柱塞的运动速度与面积成反比;在柱塞面积一定的条件下,与流量成正比。只要连续改变(手动)泵的流量,便可连续地改变提升缸活塞速度。

3. 能量守恒定律

在图 1-3 所示的液压千斤顶工作过程中,如果不计摩擦损失等因素,小柱塞做功

$$W_1 = F_1 ds_1 = A_1 p ds_1 = p dV \quad (1.2-6)$$

大柱塞做功

$$W_2 = F_2 ds_2 = A_2 p ds_2 = p dV \quad (1.2-7)$$

由上可知：\$W_1 = W_2\$，即液压传动符合能量守恒定律。如果以功率形式表示则有

$$P = \frac{dW}{dt} = F \frac{ds}{dt} = Fu = Apu = pQ = p \frac{dV}{dt} \quad (1.2-8)$$

1.2.2 液压传动系统的组成及作用

液压传动系统功能不一，形式各异，无论是简单的液压千斤顶（见图 1-1），还是其他复杂的液压系统（见图 1-4），都包括如图 1-5 所示的元件。

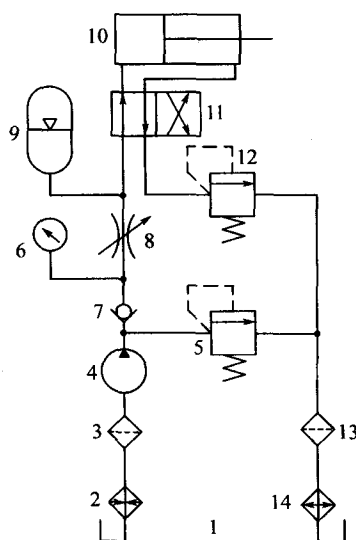


图 1-4 某液压系统的职能符号表示

1—油箱；2—加热器；3—粗滤油器；4—液压泵；5—溢流阀；6—压力表；7—单向阀；8—节流阀；
9—蓄能器；10—换向阀；11—液压缸；12—背压阀；13—精滤油器；14—冷却器。

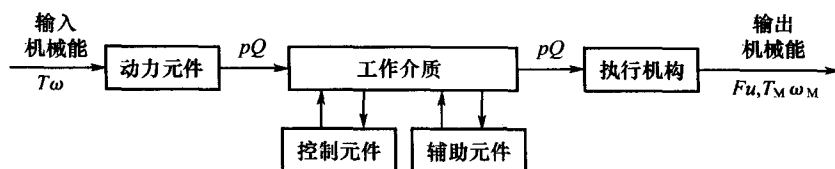


图 1-5 液压系统的能量转换及构成元件示意图

1. 动力元件

动力元件又称液压泵，其作用是利用密封容积的变化，将原动机(如内燃机，电动机)的输入机械能转变为工作液体的压力能（即液压能），是液压系统的能源(动力)装置。

2. 执行元件

将液压能转换成机械能的装置称为执行元件。这是与液压泵作用相反的能量转换

装置,是液压缸和液压马达的总称。前者是将液压能转换成往复直线运动的执行元件,它输出力和速度;后者是将液压能转换成连续旋转运动的执行元件,它输出扭矩和转速。摆动液压马达(习惯称摆动液压缸)不可连续回转,只能往复摆动(摆动角小于 360°)。

3. 控制元件

液压系统中控制液体压力、流量和流动方向的元件,总称为控制元件,通常称为液压控制阀,简称液压阀、控制阀或阀。

4. 辅助元件

辅助元件包括油箱、管道、管接头、滤油器、蓄能器、加热器、冷却器等。它们虽然称为辅助元件,但在液压系统中是必不可少的。它们的功能是多方面的,各不相同。

5. 工作介质

液压系统中工作介质为液体,通常是液压油,它是能量的载体,也是液压传动系统最本质的组成部分。

1.2.3 液压传动系统的图示方法

液压传动系统的图示方法有以下三种。

1. 装配结构图

装配结构图能准确地表达系统和元件的结构形状、几何尺寸和装配关系,但绘制复杂,不能简明、直观地表达各元件的功能。它主要用于设计、制造、装配和维修等场合,而在系统性能分析和设计方案论证时不宜采用。

2. 结构原理图

结构原理图可以直观地表达各种元件的工作原理及在系统中的功能,并且比较接近元件的实际结构,故易于理解接受。但图形绘制仍比较复杂,难于标准化,并且它对元件的结构形状、几何尺寸和装配关系的表达也很不准确。这种图形不能用于设计、制造、装配和维修,对于系统分析又过于复杂,常用于液压元件的原理性解释和说明,在对液压元件的理论分析和研究中也常用到。

3. 职能符号图(图 1-4)

在液压系统中,凡是功能相同的元件,尽管结构和原理不同,但均用同一种符号表示。这种仅仅表示功能的符号称为液压元件的职能符号或图形符号。因此,用职能符号绘制液压系统图时,它们只表示系统和各元件的功能,并不表示具体结构和参数以及具体安装位置。

职能符号图的图形简洁标准、绘制方便、功能清晰、阅读容易,便于液压系统的性能分析和设计方案的论证。

职能符号图是一种工程技术语言。我国制定的液压及气动图形符号标准,与国际标准和多数发达国家的标准十分接近,是一种通用的国际工程语言。

用职能符号绘制液压系统图时,如无特别说明,均指元件处于静态或零位而言。常用方向性的元件符号(如油箱等)必须按规定绘制,其他元件符号也不得任意倾斜。但必须特别说明某元件在液压系统中的动作原理或结构时,允许局部采用结构原理图(亦称半结构图)表示。

1.3 液压传动的特点及应用

1.3.1 液压传动的优点

(1) 可方便地实现大范围内的无极调速。调速范围可达 1000:1; 调速功能不受功率大小的限制。这是机械传动和电传动都难以做到的。

(2) 与电传动相比, 液压传动具有质量轻、体积小、惯性小、响应快等突出优点。统计表明, 液压泵和液压马达的单位功率的质量, 目前仅为电动机的 1/10 左右, 或者说液压泵和液压马达单位质量的能容量为电动机 10 倍左右。液压马达的转矩与转动惯量比(驱动转矩与转动惯量之比)约为电动机的 10 倍, 故加速性能好。电动机的响应时间为液压马达的 10 倍以上。液压马达的这种特点对伺服控制系统有重大意义, 它可以提高系统的动态性能, 使增益提高, 频带变宽。

(3) 液压传动均匀平稳, 负载变化时速度较稳定, 并且具有良好的低速稳定性。液压马达最低稳定转速可小于 1r/min。这是任何电动机都难以做到的。

(4) 借助于各种控制阀, 可实现过载自动保护, 也易于实现其他自动控制和进行远程控制或机器运行自动化。特别是与电液控制技术联用时, 易于实现复杂的自动工作循环。

(5) 由于液压元件是用管道连接的, 故可允许执行元件与液压泵相距较远; 液压元件可根据设备要求与环境而灵活安装, 适应性强。

(6) 液压系统通常以液压油作为工作介质, 具有良好的润滑条件, 可延长元件使用寿命。

(7) 液压元件易于标准化、系列化和通用化, 便于设计、制造和推广应用。

1.3.2 液压传动的主要缺点

(1) 效率较低。在液压系统的动力传递过程中, 能量经过两次变换, 变换时存在着机械能和液压能损失, 故效率较低, 一般为 75%~80%左右。

(2) 泄漏问题。液压系统的泄漏是不可避免的, 这是使人烦恼的问题。泄漏不仅使系统效率降低和影响传动的平稳性及准确性, 而且污染环境, 尤其石油基液压油, 当附近有火种或高温热源存在时, 泄漏可能导致着火而引发灾难事故。

(3) 对污染敏感。污染的工作介质对液压元件危害极大: 磨损加剧, 性能变坏, 寿命缩短, 甚至损坏。磨损又使污染加剧。据统计, 液压系统的 70%以上的故障多是液压油的污染引起的, 保持工作介质的清洁是极为重要的。

(4) 检修困难。液压系统一旦发生故障, 判断故障原因和部位都比较困难, 因此要求操作和维修人员, 应有较高的技术水平、专业维修知识和判断故障原因的能力。

(5) 对温度敏感。液压系统的性能和效率受温度变化影响较大, 一般不适于高温或低温环境工作。

(6) 液压元件加工精度要求较高。一般情况下, 液压系统要有独立的能源, 因而产品成本较高。

尽管液压传动有这些缺点,但优点毕竟占主导地位,并且某些缺点已在不同程度上得到克服,这也是液压传动技术迅速发展和应用日益广泛的原因。

1.3.3 液压传动的应用

由于液压传动和控制技术具有独特的优点,从民用到国防,从一般传动到精度很高的控制系统,都得到了广泛的应用,近 30 年尤其如此。

在国防工业中,陆、海、空三军的很多武器装备都采用了液压技术,如飞机操舵装置、起落架和发动机自动调速装置、坦克的稳定系统、火炮随动系统、雷达无线电扫描系统、军舰炮塔瞄准系统、消摇和稳定装置、导弹和火箭的发射控制系统等。

机床工业是应用液压技术最早的行业,目前机床传动系统有 85% 都采用了液压传动和控制技术,如磨床、刨床、铣床、插床、车床、剪床、组合机床和压力机等。

在工程机械中,普遍采用了液压技术,如挖掘机、轮船转载机、汽车起重机、履带推土机、自行铲运机和振动式压路机等。

在汽车工业中,液压越野汽车、液压自卸汽车、消防车等均采用了液压技术。

在冶金工业中,电炉自动控制系统、轧钢机的控制系统、平炉装料装置、转炉和高炉控制系统、带材跑偏及恒张力装置等都采用了液压技术。

在船舶工业中,液压技术的应用也很普遍,如液压控泥船、水翼船、气垫船和船舶辅助装置等。

在轻纺化工和食品行业,如纺织机、印刷机、塑料注射机、食品包装机和瓶装机等也采用了液压技术。

近几年来,在太阳能跟踪系统、海浪模拟装置、船舶驾驶模拟系统、地震模拟装置、宇航环境模拟系统,核电站防震系统等高技术领域,也采用了液压技术。

总之,一切工程领域,凡是有机械设备的场合,均可采用液压技术。在大功率和自动控制的场合,尤其需要采用液压技术,液压技术的应用有极其光明的前景。

1.4 液压技术发展简史及趋势

1.4.1 液压技术发展简述

液压技术源于古老的水力学,它的发展与流体力学的研究成果、工程材料、液压介质等相关学科的发展紧密相联。液压技术的迅速发展是在 20 世纪中叶前后,目前已成为比较成熟的基础学科。

1650 年,法国科学家帕斯卡(Pascal)提出了封闭静止液体的压力传递的 Pascal 原理;1686 年牛顿(Newton)提出了描述粘性液体相对运动的内摩擦定律;到 18 世纪,流体力学的两个重要方程——连续方程(质量守恒方程)和伯努利(Bernoulli)方程(能量守恒方程)相继建立。这些理论成果为液压技术的发展奠定了理论基础。

1726 年,英国人约瑟夫·布拉默(Joseph Bramah)研制了世界上第一台水压机,用于压紧羊毛、纺织原料和榨油等,是现代液压技术的工程应用的起始标志。水压机的发明与当时的铸铁等工程材料及一些新的制造方法的出现有关。后来,由于电传动的发展,

加之当时的技术条件尚不足以克服液压传动本身的缺陷, 液压技术处于停滞状态。16 世纪后半叶, 英国人阿姆斯特让(W.G.Armstrong)发明了重锤式蓄能器和多种液压机械及液压元件, 用于压力机、起重机、卷绕机和包装机等工业场合, 液压技术迅速发展。1901 年前后, 液压技术用于水轮机的调速器和大型阀的操纵装置, 这是液压技术的又一重大应用。

1905 年到 1908 年, 美国工程师威廉斯(H·Williams)和詹尼(R·Janney)发明了以油液为工作介质的柱塞式液压机械, 克服了水介质的润滑性差、易产生锈蚀等缺陷, 使液压技术得到迅速发展。液压油取代水为工作介质是液压技术走向成熟的重要标志。

1900 年詹尼(R.Janney)设计出第一台压力为 4MPa 的轴向柱塞泵; 1906 年以油液为工作介质的液压传动装置首先用于海军战舰的炮塔俯仰装置; 1910 年海勒·肖(Hele Shaw), 1922 年汉斯·特马(Hans Thoma)先后研制出以油液为工作介质的径向柱塞泵; 1930 年汉斯·托马研制出平面配流的斜轴式轴向柱塞泵, 将泵的工作压力提高了一大步; 1936 年哈里·威克斯(Harry Vickers)又发明了先导式溢流阀(Pilot operated Relief valve); 尤其是 20 世纪 30 年代丁腈橡胶等耐油密封材料的出现, 使液压技术得以迅速发展。

第二次世界大战期间, 军事迫切需要反应快捷、动作准确、功率大的液压传动系统及伺服机构用于各种军事装备, 因此各种高压元件获得进一步的发展。1950 年以后, 液压技术在许多领域诸如机床、工程机械、船舶机械、压力机械、冶金和轧钢机械、农业机械和汽车行业都得到了广泛应用, 其间液压技术的主要成果有: 球面配流的 Thoma 泵(斜轴式柱塞泵), 1950 年用于工业生产; 琼·墨西埃(Jean Mercier)于 1950 年研制出隔膜式气液蓄能器; 20 世纪 50 年代初出现了快速响应的永磁力矩马达; 1958 年美国麻省理工学院的布莱克本(Blackburn)和李诗颖(lee)研制出喷嘴挡板式电液伺服阀, 这是液压技术的又一重要成果。

20 世纪 60 年代—70 年代是液压技术日臻完善、广泛应用并形成独立学科的年代。70 年代末—80 年代初中国学者路甬祥发明了电液比例技术和插装阀技术, 标志着液压技术又取得了重要进展。

近 20 年来, 尤其是近 10 年来, 由于人们对环境保护的日益重视, 加上材料科学技术的发展, 西方十分重视以纯水为介质的液压技术研究, 并在中压(14MPa~16MPa)液压系统中成功应用。这是液压技术令人关注的发展动向, 中国的浙江大学和华中科技大学也在该方面进行了研究。

1.4.2 液压技术的发展趋势

随着近 50 年来的发展, 液压技术已成为包括传动、控制和检测在内的, 对现代机械装配技术进步有重要影响的基础技术和基础学科; 随着近 20 年来的电子技术、计算机技术和信息技术的迅速发展, 液压技术不仅是一种传动方式, 更多地是作为一种控制手段, 作为连接微电子技术和大功率控制对象之间的桥梁, 成为现代控制工程中重要的、不可缺少的环节和手段。例如, 国外 20% 的数控加工中心、25% 以上的自动线都采用了液压传动技术。因而采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志, 世界

先进国家都对液压技术的发展给予高度重视。

当前液压技术向高压、高速、大功率、高效率、低噪声、高可靠性、高集成化方向发展并取得重大进展,同时在完善比例控制、伺服控制、数字控制和机电一体化方向也取得了许多重大成果。新材料和新介质方向的研究也为液压技术的发展和完善提供了新的动力。当前液压技术的发展主要集中在以下几个方面。

(1) 发展集成、交合、小型化和轻量化液压元件。随着液压系统复杂化程度的提高,要求液压元件具有高可靠性、减少配管、节省安装空间、易维修等特点。继集成块式、叠加阀式、插装阀式之后,近几年又出现了将控制元件附加在动力元件上的一体化复合液压装置。

(2) 发展高性能的液压控制元件,以适应机电一体化主机发展的需要。如开发低控功率阀,研制适应野外条件的电液比例阀,高响应频率的电液伺服阀,低成本比例阀及不需要 A/D 和 D/A 转换、可直接与计算机接口的数字阀。

(3) 以环境保护、安全和满足可持续发展为目标的绿色开发研究。如无污染的纯水液压技术及相关新材料、新工艺的开发和应用研究,降低元件和系统的噪声、减少泄漏和提高密封性能的应用研究。

(4) 提高元件和系统的可靠性。提高可靠性是一项系统工程,除科学设计、先进的材料及完善的工艺外,还应注意应用和维护的可靠性、系统的状况监测、故障诊断、降低元件对污染的敏感性等方面。加强污染控制与新型工程材料的应用研究,对提高元件和系统的可靠性有重要意义。

(5) 以提高效率、降低能耗为目标的系统匹配设计理论、方法和计算机对液压系统进行自动适应控制手段的研究。

(6) 技术标准化研究。设计的标准化、产品的规范化不仅方便用户,也是行业发展所必需的。技术标准化的水平是行业技术发展水平的标志,在该方向,还有很多艰巨的工作要做。

中国自 20 世纪 50 年代末期开始发展液压工业,80 年代—90 年代,国家对液压行业进行了重点改造,先后引进许多项国外技术,使我国液压行业的产品水平、产品开发水平和工艺装备水平有了大幅提高,但与国外先进水平相比尚有很大的差距。主要表现在产品技术含量低,品种规格少,标准化程度低,通用性差,产品寿命短,可靠性差,质量不稳定,自我开发能力差,拥有自主知识产权的技术少;对在一些新的应用领域,如航天航空、水下和海洋工程、微型机械装置及高温明火环境下所急需的一些特殊元件研究甚少,甚至处于空白状态。迅速改变这种落后状况,是中国液压技术界和工程界所面临的一项重要任务。

思考题

1. 何谓液压传动?其基本工作原理是什么?
2. 简述液压系统的组成及作用。
3. 概述液压传动的特点并举出一些应用实例。
4. 列举液压技术发展中的几项重要技术成果和成就。