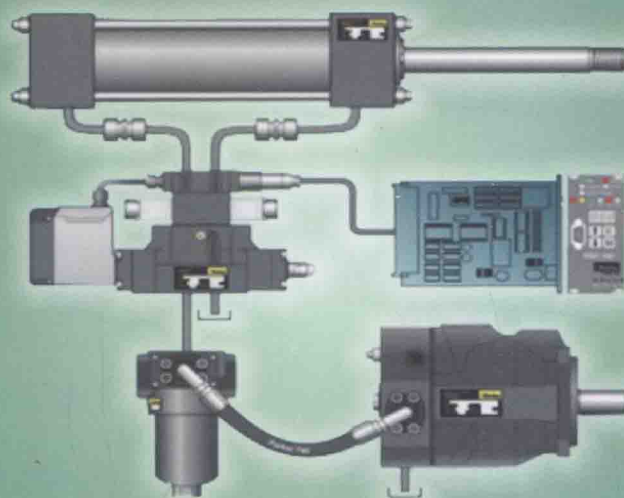


高等学校规划教材 · 机械工程
PROGRAMMING TEXTBOOKS FOR HIGHER EDUCATION



液压传动与控制

(第2版)

张利平 张 津 编著

西北工业大学出版社

高等学校通用教材

液压传动与控制

(第2版)

张利平 张 津 编著

西北工业大学出版社

【内容简介】 本书是高等学校机械工程类专业通用教材。

全书共十章:第一章概述了液压传动与控制的研究对象及课程目标、基本原理与特点等;第二章介绍了液压工作介质及液压流体力学基础;第三~第六章介绍了液压元件;第七章介绍了液压基本回路;第八章讲述了典型液压系统;第九章讲述了液压传动系统设计计算;第十章讲述了液压控制系统(含电液伺服阀、比例阀和数字阀,系统应用实例及其设计要点,计算机模拟仿真方法等)。各章末附有思考题与习题及其参考答案。附录摘有最新国标 GB/T 786.1—2009 中的常用液压气动图形符号以及液压技术常用物理量单位及其换算。

本书可作为普通高等学校机械工程类专业各专业方向(如机械设计制造及其自动化、液压传动与控制、机械电子工程、材料成形及控制工程、过程装备与控制工程、机车车辆、工程机械、冶金机械、农林机械、轻纺机械等)的通用教材(讲授 40~60 学时),也可作为高等职业教育、成人教育、技术培训、自学考试的基础教材,同时可供工矿企业及科研院所相关工程技术人员、现场工作人员和液压爱好者参阅。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与控制/张利平,张津编著. —2 版. —西安:西北工业大学出版社,2014.4
ISBN 978-7-5612-3959-9

I. ①液… II. ①张…②张… III. ①液压传动②液压控制 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 080145 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 88491757

网 址:www.nwpup.com

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:20

字 数:487 千字

版 次:2014 年 4 月第 2 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

定 价:40.00 元

前 言

《液压传动与控制》(第1版)自2005年出版以来,得到全国各地广大读者的关注、认可与欢迎,包括笔者所供职的单位在内,很多院校及培训机构的专家、教师和学生将本书选作液压技术相关课程的基础教材或教学参考书,因而被多次重印,对液压技术的教学、科研、生产及普及工作发挥了良好的作用。

为了能及时反映近年来液压传动与控制在基础理论、液压元件及系统、分析研究方法和相关标准等多方面的新发展和新成就,促进液压技术相关课程的改革和创新人才的培养,笔者在总结30多年,特别是近年来液压气动技术教学培训、科研论著和现场为企业解决难题过程中的经验,以及认真学习同行专家相关教材编写经验的基础上,利用旅居国外所见所闻及在国内多个省市及大中企业讲学之便所收集的一些国内外信息材料,对本书第1版进行了精心修订。修订的主导思想是保持体系结构与风格稳定,力求内容精炼与推陈出新。修订的目标:使教师在较少的教学时数内,更加便捷地组织课堂教学;使学生初次接触液压技术便对之产生浓厚兴趣,获得更多实用技术内容与信息,培养和提升动手能力和分析解决液压工程实际问题及创新能力。

围绕上述主导思想和目标,第2版对全书内容进行了以下几个方面的修改与更新:

(1)液压元件及回路与系统的图形符号均采用最新国标 GB/786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第1部分:用于常规用途和数据处理的图形符号》,对原有及新增的液压回路及系统图全部采用此标准进行绘制,并在书后以附录形式给出本标准摘要,以便于读者查阅使用。

(2)对所有液压元件均侧重于基本概念、原理的描述而不过多涉及与追究其具体结构。

(3)精选基本回路与典型系统,以代表性及典型性为准则,通过增、删,力求内容少而精。

(4)在相关章节增写了部分新内容:液压系统中主要液压元件的图形符号意义等(第一章);难燃液压液的选用、污染度测定方法与污染度等级标准等(第二章);螺杆泵(第三章);耳环式液压缸、液压缸内径及活塞杆外径系列等、常用液压马达的类型与特性(第四章);液压阀性能比较与应用场合(第五章);自清洁油箱、油/风冷却器及橡胶组合密封等国内外新元件及新结构(第六章);采用液压泵或液压马达的同步动作回路(第七章);液压传动系统的分类、评价与分析内容及方法要点(第八章);液压控制系统计算机模拟仿真及其两个实用软件 MATLAB 和 AMESim(第十章)。

(5)更正了第1版中的一些漏误,重新整理和绘制了绝大多数图表。

(6)对全部思考题与习题重新进行组织和编写,并给出了参考答案,以便学生复习巩固课

堂内容和教师布置及批阅作业。

本书由张利平和张津编著。张秀敏参与了本书的资料搜集、文稿整理和录入工作。笔者的学生向其兴、李震、顾敬伟、窦赵明、朱林丽、赵丽娜、王健、田贺、冯德兵、岳玉晓、耿卫晓等参与了本书部分插图的绘制。

向在本书编写出版过程中，曾提出宝贵建议、给予大力支持与帮助的个人和液压元件生产、供货商等以及参考文献的各位作者一并表示衷心感谢。

欢迎使用本书的广大师生和读者对书中所存在的错漏和不当之处，给予批评指正。

编著者

2013年5月于天津

目 录

第一章 液压技术绪论	1
第一节 液压传动的定义及本课程的教学目标	1
第二节 液压传动与控制的工作原理、组成部分及其表示	1
第三节 液压系统的类型	7
第四节 液压传动与控制技术的特点、应用及其发展	8
思考题与习题	10
第二章 液压工作介质与液压流体力学基础	11
第一节 液压工作介质	11
第二节 液体静力学	24
第三节 液体动力学	29
第四节 定常管流的压力损失	35
第五节 孔口和缝隙液流特性	38
第六节 液压冲击及气穴现象	45
思考题与习题	48
第三章 液压能源元件	51
第一节 液压泵的基本结构原理及类型	51
第二节 液压泵的主要性能参数	52
第三节 齿轮泵	54
第四节 叶片泵	58
第五节 柱塞泵	64
第六节 常用液压泵性能比较与选择	70
思考题与习题	72
第四章 液压执行元件	73
第一节 液压缸	73
第二节 液压马达	83
第三节 摆动液压马达	87
思考题与习题	88
第五章 液压控制元件	91
第一节 液压阀概述	91

第二节 方向控制阀	93
第三节 压力控制阀	102
第四节 流量控制阀	113
第五节 叠加阀与插装阀	120
第六节 常用液压阀的性能比较及选择	126
思考题与习题	127
第六章 液压辅助元件	131
第一节 过滤器	131
第二节 热交换器	134
第三节 液压油箱	136
第四节 蓄能器	139
第五节 油管和管接头	142
第六节 压力表及压力表开关	145
第七节 密封装置	147
思考题与习题	150
第七章 液压基本回路	151
第一节 压力控制回路	151
第二节 速度控制回路	157
第三节 方向控制回路	169
第四节 多执行元件动作控制回路	171
思考题与习题	176
第八章 液压系统分析	179
第一节 液压传动系统的分类、评价与分析内容及方法要点	179
第二节 YT4543 型组合机床动力滑台液压传动系统	183
第三节 JS01 型工业机械手液压传动系统	186
第四节 YA32—200 型四柱万能液压机液压传动系统	189
第五节 YW—100 型履带式全液压单斗挖掘机液压传动系统	192
思考题与习题	195
第九章 液压系统设计	198
第一节 液压传动系统的设计内容与方法	198
第二节 液压传动系统设计计算示例——单面多轴钻孔组合机床液压系统设计	222
思考题与习题	231
第十章 液压控制系统	233
第一节 液压控制系统的原理和构成	233

第二节 液压控制系统的类型·····	235
第三节 电液控制阀·····	236
第四节 液压控制系统应用实例分析·····	260
第五节 液压控制系统的动态特性分析·····	274
第六节 液压控制系统设计·····	278
第七节 液压控制系统的计算机模拟仿真·····	280
思考题与习题·····	295
附录·····	298
附录一 常用液压气动元件图形符号(GB/T 786.1—2009 摘录)·····	298
附录二 液压技术常用物理量及其换算·····	309
参考文献·····	311

第一章 液压技术绪论

第一节 液压传动的定义及本课程的教学目标

传动机构是设置在机器中原动机和工作机之间的部分,用于实现动力的传递、转换与控制,以满足工作机对力、工作速度及位置的不同要求。机械传动、电气传动、流体传动等是目前常见的传动类型,其主要差别在于所采用的传动件(或工作介质)不同。液压传动属于流体传动范畴,它是以受压液体(油或油水混合物)作为工作介质,来进行动力的传递、转换与控制的一种传动方式。

作为高等学校机械类专业所开设的一门重要技术基础课程,液压传动与控制的主要教学目标为在向学生介绍传动介质的基本物理性质及其力学(静力学、运动学和动力学)特性基础上,了解组成系统的各类液压元件的基本结构、工作原理和性能,以及由这些元件所组成的各种控制回路的性能和特点,进而进行液压系统的分析及设计。

第二节 液压传动与控制的工作原理、组成部分及其表示

液压传动的应用相当广泛。现以液压千斤顶为例,说明液压传动的工作原理及其主要特征,然后介绍液压系统的组成部分及其系统的表示方法。

一、工作原理

如图 1-1 所示,油箱 8 中装有液压油。小缸体 1、小活塞 2 与单向阀(只允许油液向一个方向流过) 3、5 构成手动液压泵,完成吸油与排油;大缸体 10 和大活塞 11 构成举升液压缸,完成重物的升降。当抬起杠杆使小活塞向上运动时,小缸体的容腔 a 的容积增大形成局部真空,致使吸油单向阀 3 打开,经吸油管 4 从油箱 8 中吸油。当小活塞受力 F_1 作用向下运动时,a 腔的容积减小,油液因受挤压,压力升高,故被挤出的液体将吸油单向阀 3 关闭,而将排油单向阀 5 顶开,经油管 6 进入大缸体 10 的 b 腔,迫使大活塞 11 上移顶起重物(重力 F_2)。当再次提起杠

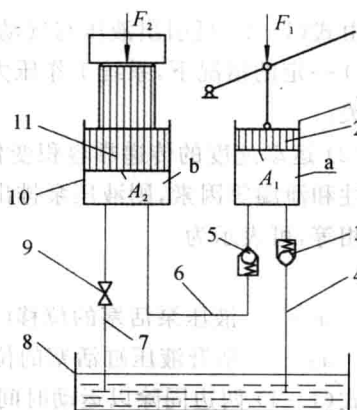


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

- 1—小缸体; 2—小活塞; 3—吸油单向阀;
4,6,7—油管; 5—排油单向阀; 8—油箱;
9—截止阀; 10—大缸体; 11—大活塞

杆吸油时,单向阀 5 自动关闭,保证举升缸 b 腔的压力油不致倒流回手动泵内,从而保证了重物不会自行下落。通过不断扳动杠杆使小活塞不断上下往复运动,就能不断把油液压入举升缸 b 腔而使重物逐渐升起。在重物上升到所需高度后,停止扳动杠杆及小活塞的运动,举升缸的 b 腔内油液由排油单向阀 5 封死,大活塞 11 连同重物一起被闭锁不动。此时,截止阀 9 关闭。如要打开截止阀 9,则举升缸 b 腔内液体便经截止阀和油管 7 排回油箱 8,于是大活塞将在重物和自重作用下,下移回复到原始位置。

二、工作特征

上述液压千斤顶中的手动液压泵和举升液压缸组成了最简单的液压传动系统。其中,手动液压泵将杠杆的机械能转换为油液的压力能输出,完成吸油与排油;举升液压缸将油液的压力能转换为机械能输出,举起重物,从而实现了动力的传递与转换。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 表示作用在大活塞 11 上的负载力(其大小与输出力相等), A_2 表示大活塞的面积, p_2 表示力 F_2 在 b 腔中产生的液体压力(即物理学中的压强);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),则大活塞 11 与小活塞 2 的静力平衡方程分别为

$$\begin{cases} F_2 = p_2 A_2 \\ F_1 = p_1 A_1 \end{cases} \quad (1-1)$$

若不计管路的压力损失,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)可引出液压与气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,系统工作压力 p 取决于负载 F ,负载越大,压力越大,而与流入的液体多少无关。

(2) 运动速度的传递靠容积变化相等原则实现,运动速度取决于流量。如果不计液体的压缩性和泄漏等因素,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

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

式中 x_1 ——液压泵活塞的位移(mm);

x_2 ——举升液压缸活塞的位移(mm)。

式(1-4)两边同除以运动时间 t ,得

$$A_1 \frac{x_1}{t} = A_2 \frac{x_2}{t} \quad (1-5)$$

即

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-6)$$

或

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-7)$$

式中 v_1 ——液压泵活塞的平均运动速度(m/s);

v_2 ——举升液压缸活塞的平均运动速度(m/s)。

由式(1-7)可以看出,活塞的运动速度与活塞的作用面积成反比。

$A \frac{x}{t}$ 的意义是单位时间内液体流过截面积 A_1 和 A_2 的体积,称为流量 q ,即

$$q = Av \quad (1-8)$$

若已知进入液压缸的流量 q ,则活塞的运动速度为

$$v = q/A \quad (1-9)$$

综上所述,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液压缸流量的大小,而与外负载无关。调节进入液压缸的流量 q ,即可调节活塞的运动速度 v 。

(3) 系统的动力传递符合能量守恒定律,压力与流量的乘积等于功率。如果不计任何损失,则系统的输入功率 P_1 与输出功率 P_2 相等,即有

$$P_1 = F_1 v_1 = P_2 = F_2 v_2 \quad (1-10)$$

考虑式(1-1)和式(1-9),则式(1-10)可表示为

$$P = P_1 = F_1 v_1 = pA \frac{q_1}{A_1} = P_2 = F_2 v_2 = pA_2 \frac{q_2}{A_2} = pq \quad (1-11)$$

由式(1-11)可引出液压与气动的第三个工作特征:液压传动是以液体的压力能来传递动力的,并且符合能量守恒定律,压力与流量的乘积等于功率。

综上所述可以看出四点:①由于液压传动中的工作介质是在调节和控制下工作的,因此液压传动不仅能作为“传动”之用,而且还能作为“控制”之用,两者很难截然分开。②与外负载力相对应的液体参数是压力,与运动速度相对应的液体参数是流量,故压力和流量是液压传动中两个最基本的参数。③如果忽略各种损失,液压传动传递的力与速度彼此无关,故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。④液压传动可以省力但不省功。

三、液压传动的组成部分

工程实际中的液压传动装置,在液压泵、液压缸的基础上尚需设置控制液压缸的运动方向、速度和最大推力的装置,下面以图1-2所示驱动机床工作台的液压系统为例,说明液压系统的组成部分。

当液压泵3由原动机驱动旋转时,从油箱1经过滤器2吸油。换向阀7有P、T(T_1)、A、B四个油口和三个工作位置,当其阀芯处于图示工作位置时,压力油经管路14、流量控制阀5、换向阀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、换向阀7(B→T)和管路6,4排回油箱;当通过扳动换向手柄12使换向阀7的阀芯切换至左端工作位置时(见图1-2(b)),液压缸活塞反向运动;当使换向阀7的阀芯处于中间位置(见图1-2(c))时,液压缸9在任意位置停止运动。

调节和改变流量控制阀5的开口大小,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。流量控制阀5的开口大,工作台速度快;反之,流量控制阀5的开口

小,工作台速度慢。在满足工作台速度要求之后,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。溢流阀 16 用来调节液压泵 3 的压力。因为要使工作台运动,必须克服切削力、摩擦力和回油背压力等阻力(统称负载),而且这些阻力是变化的,所以调节压力应根据最大负载来调整。这样,当系统压力低于这一调节压力时,溢流阀 16 关闭;当负载大,压力升高到调节压力时,溢流阀打开,对系统起到超载保护作用。如将图 1-2 所示的液压缸 9 垂直安装,用于驱动压力机即可实现上下往复运动控制;如将液压缸换为液压马达,即可实现回转运动的控制。

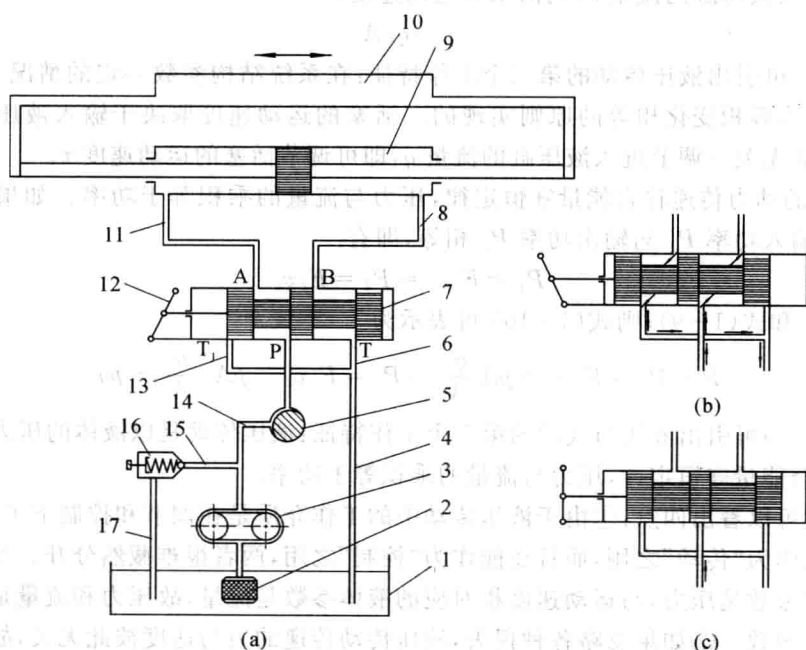


图 1-2 机床工作台液压系统结构原理示意图

(a) 换向阀芯处于右端位置; (b) 换向阀芯切换至左端位置; (c) 换向阀芯处于中间位置

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

由上所述可以看出, 液压传动是以受压液体为工作介质, 通过液压泵将驱动泵的原动机的机械能转换成液体的压力能, 然后经过封闭管路及液压控制阀, 进入液压缸或液压马达, 转换为机械能去推动工作机构实现所需的直线或旋转运动的传动装置。液压传动装置一般都是由能源元件、执行元件、控制元件、辅助元件(这四部分统称为液压元件)和工作介质等五个部分组成的, 各部分的功用如表 1-1 所列。一般而言, 能够实现某种特定功能的液压元件的组合, 称为液压回路; 将若干特定的基本功能回路按一定方式连接或复合而成的总体称为液压系统。

表 1-1 液压传动装置的组成部分及功用

组成部分			功 用
液压元件	能源元件	液压泵及其原动机	将原动机(电动机或内燃机)供给的机械能转变为流体的压力能,输出具有一定压力的油液
	执行元件	液压缸、液压马达和摆动液压马达	将工作介质(液体)的压力能转变为机械能,用以驱动工作机构的负载做功,实现往复直线运动、连续回转运动或摆动
	控制元件	各种压力、流量、方向控制阀及其他控制元件	控制调节系统中从动力源到执行元件的液体压力、流量和方向,从而控制执行元件输出的力、速度和方向,以保证执行元件驱动的主机工作机构完成预定的运动规律
	辅助元件	油箱、过滤器、管件、热交换器、蓄能器及指示仪表等	用来存放、提供和回收工作介质(油液);滤除介质中的杂质、保持系统正常工作所需的介质清洁度;实现元件之间的连接及传输载能介质;显示系统压力、温度等
工作介质		油或油水混合物	传递能量和工作及故障信号,对管路和元件进行润滑、冷却及防锈等

四、液压系统的表示——原理图及图形符号

描述液压系统的基本组成、工作原理、功能、工作循环及控制方式的说明性原理图称为液压系统原理图。系统原理图有多种表示方法,但为了便于绘制和技术交流,一般采用标准图形符号绘制系统原理图,而不采用图 1-2 所示的半结构形式绘制。由于图形符号仅表示液压元件的功能、操作(控制)方法及外部连接口,并不表示液压元件的具体结构、性能参数、连接口的实际位置及元件的安装位置,因此,用其表达系统中各类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,还可大大提高液压与气动系统原理图的设计、绘制效率及质量。

我国迄今先后于 1965 年、1976 年、1993 年和 2009 年颁布了液压与气动图形符号标准。现行标准为 GB/T 786.1—2009《流体传动系统及元件图形符号和回路图第 1 部分:用于常规用途和数据处理的图形符号》,故本书按该标准进行叙述(该标准规定的常用液压气动元件图形符号在附录一列出备查)。图 1-3 所示即为按 GB/T 786.1—2009 规定的图形符号绘制的图 1-2 所示的液压系统原理图,其中的主要液压元件图形符号意义见表 1-2。

图 1-3 用标准图形符号绘制的机床工作台液压系统原理图

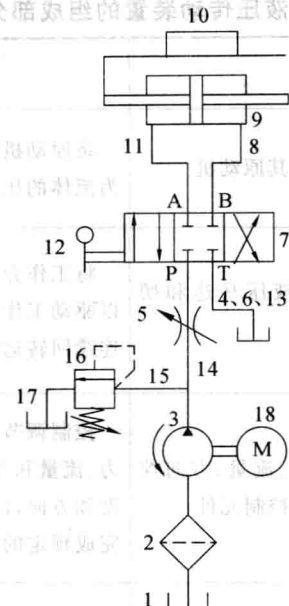


图 1-3 用标准图形符号绘制的机床工作台液压系统原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4,6,8,11,13,14,15,17—管路；5—节流阀；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

表 1-2 机床工作台液压系统中主要液压元件的图形符号意义

元件名称	图形符号及其意义	图 1-3 所示对应元件
油箱	用半矩形表示	元件 1 为油箱
过滤器	由等边菱形加上内部的虚线表示	元件 2 为过滤器
液压泵	由一个圆加上一个实心正三角形或两个实心正三角形来表示，正三角形箭头向外，表示压力油液的方向。用一个实心正三角形表示的为单向泵；用两个实心正三角形表示的为双向泵。圆上、下两垂直直线段分别表示排油和吸油管路（油口）。图中无箭头的为定量泵，有箭头的为变量泵。圆侧面的双线和弧线箭头表示泵传动轴所作的旋转运动	元件 3 为液压泵
换向阀	为改变油液的流动方向，换向阀的阀芯位置要变换，它通常可变动 2~3 个位置，而且阀体上的通路数（主油口数）也不同。根据阀芯可变动的位置数和阀体上的通路数，可组成 $\times$ 位 $\times$ 通阀。其图形意义：①换向阀的工作位置用方格表示，有几个方格即表示几位阀；②方格内的箭头符号表示油流的连通情况（有时与油液流动方向一致），“┐”或“┌”表示油液被阀芯封闭的符号，这些符号在一个方格内和方格的交点数即表示阀的通路数；③方格外的符号为操纵阀的控制符号，控制形式有手动、机动、电动和液动等	元件 7 为三位四通手动换向阀

续 表

元件名称	图形符号及其意义	图 1-3 所示对应元件
压力阀	方格相当于阀芯,方格中的箭头表示油流的通道,两侧的直线代表进出油管(口)。图中的虚线表示控制油路,压力阀就是利用控制油路的液压力与另一侧弹簧力相平衡的原理进行工作的。弹簧上的箭头代表压力可通过调整弹簧预调力进行调节	元件 16 为溢流阀
节流阀	两圆弧所形成的缝隙即节流孔道,油液通过节流孔使流量减少,图中的箭头表示节流孔的大小可以改变,也即通过该阀的流量是可以调节的	元件 5 为节流阀
液压缸	用一个长方形加上内部的两条相互垂直的双直线段表示,双垂直线段表示活塞,活塞一侧带双水平线段表示为单活塞杆缸,活塞两侧带双水平线段表示为双活塞杆缸。图中有小长方形和箭头的表示缸带可调节缓冲器,无小长方形的则表示缸不带缓冲器	元件 9 为不带缓冲器的双活塞杆液压缸

用图形符号绘制系统原理图时的注意事项:①可根据图纸幅面大小和需要,按适当比例改变元件图形符号的大小,以清晰美观为原则;②元件和回路图一般以未受激励的非工作状态(例如电磁换向阀应为断电后的工作位置)画出;③在不改变标准定义的初始状态含义的前提下,元件的方向可视具体情况水平翻转或 90°旋转进行绘制,但液压油箱必须水平绘制且开口向上。

第三节 液压系统的类型

液压回路及液压系统类型繁多,其形式随主机类型及工艺目的不同而异。但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两种主要类型。液压传动系统通常为开环控制,以传递动力为主,以信息传递为次,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,严重时甚至无法达到既定的目标。图 1-3 所示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,通常无法在工作过程中进行更改。

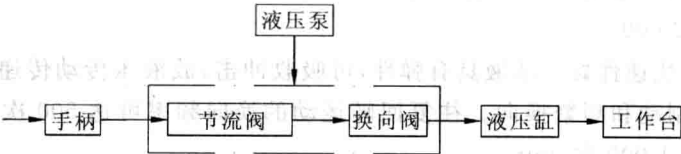


图 1-4 开环控制的液压传动系统原理方块图

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,以传递动力为次,追求控制特性的完善。由于加入了检测反馈,因此系统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。

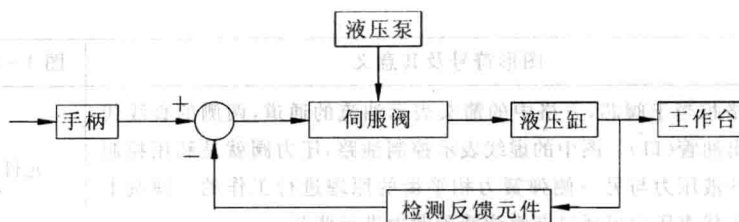


图 1-5 闭环控制的液压系统原理方块图

但应当指出,随着科学技术的飞速发展和现代机械设备技术性能要求的不断提高,军用装备、航空航天设备和数控机床等机械的动力传递和控制指标都很重要,因此,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(例如,在一台数控滚压机床的液压系统中,有的回路由普通液压阀组成,有的回路则由电液比例阀构成),这时就很难界定此系统是传动系统还是控制系统,故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、应用及其发展

一、特点

1. 优点

(1)单位质量的功率大(能以较小的设备质量获得很大的输出力和转矩)。据统计资料表明,在典型情况下,液压泵和液压马达的单位质量的功率高达 $1\,650\text{ W/kg}$,而同等功率的发电机和电动机则约为 165 W/kg ,液压泵和液压马达单位质量的功率是发电机和电动机的 10 倍。至于尺寸,前者约为后者的 $(12\sim 13)\%$ 。就输出力而言,用泵很容易得到极高压力(高达几十兆帕甚至上百兆帕)的液压油液,将此油液传送至液压执行元件后即可产生很大的输出力和转矩。因此,液压技术具有质量小、体积小和出力大的突出特点,有利于机械设备及其控制系统的微型化、小型化并进行大功率作业。

(2)布局灵活方便。液压元件的布置不受严格的空間位置限制,容易按照机器的需要通过管道实现系统中各部分的连接,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。通过控制阀,液压系统可以在运行过程中实现执行元件大范围的无级调速,调速范围可达 2 000。

(4)工作平稳、快速性好。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 次/min ,往复直线运动的换向频率高达 $1\,000\text{ 次/min}$ 。

(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)易于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。

新出(8)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,便于液压系统的设计、制造和使用维护,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。由于液体的可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。在传动过程中,需经两次能量转换,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,当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,造价相应地也就较高。

(5)故障诊断困难。液压元件与系统容易因液压油液污染等原因造成系统故障,且发生故障时不易诊断排除。

二、应用

由于液压传动与控制的技术优势,使其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,其应用领域遍及国民经济各行业,例如机械制造业,能源与冶金工业,铁路和公路交通,建材、建筑、工程机械及农林牧机械,家用电器与五金制造,轻工、纺织及化工,航空航天工程、河海工程及武器装备,计量、质检、装置、特种设备及公共设施等。

各行业和部门应用液压技术的出发点是不同的。例如,加工机械(如机床、橡塑机械)主要应用液压技术便于无级调速,易于实现自动化及易实现换向频繁的往复运动的优点;压力加工机械和工程机械主要应用液压技术输出力大的优点,航空航天工业则主要应用液压技术体积小、质量小、便于提高承载能力的优点,等等。

三、发展概况

公元前,希腊人发明的螺旋提水工具、埃及人用热空气-水力驱动的寺庙大门和中国的水轮等,可谓液压传动与控制技术最古老的应用。

现代液压技术源于1648年法国人帕斯卡(B. Pascal)提出的静压传递原理。1795年,英国人约瑟夫·布瑞玛(Joseph Bramah)登记了世界上第一台水压机专利。1906年,美国人在弗吉尼亚号战舰上采用液压装置代替电控装置对火炮实施控制,并以油代替水作为液压系统工作介质。Harry Vickers于1936年发明的先导控制压力阀首先应用于机床并一直沿用至今。第二次世界大战期间,由于军事的需要,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,使液压技术得到了迅猛发展。战后液压技术很快转人民用工业,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发展和应用。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,液压技术在更深、更广阔领域得到了发展。近年来,与微电子、计算机技术相结合,液压技术进入了一个崭新的发展时期。尽管目前液压技术面临着来自电气传动及控制技术的新竞争和绿色环保的新挑战,但因其独特的技术优势,在国民经济发展中仍将发挥无可替代的重大作用。

液压传动与控制技术及产品的研发、设计 and 应用的发展趋势为节能化(如功率传感技术、