

液压节能技术

张忠远 王锋 编著

清华大学出版社

液压节能技术

张忠远 王锋 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书以技术实用、全面,语言通俗易懂为编写指导思想,全面系统地介绍了液压节能技术的理论与方法。第一章主要阐述液压传动与控制技术的基本原理、特点及应用,分析了液压系统节能原理;第二章主要介绍节能液压系统设计的一般方法、步骤与液压控制系统的建模与仿真的初步知识;第三章主要介绍负载敏感节能技术原理、分类及应用;第四章则对各类能量回收节能原理与应用进行了介绍;第五章介绍变频节能技术;第六章主要就液压节能技术在挖掘机、电梯和注塑机三种典型液压设备上的应用进行综合分析。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

液压节能技术/张忠远编著. —北京:清华大学出版社,2012.9

ISBN 978-7-302-28513-7

I. ①液… II. ①张… III. 液压技术—节能 IV. ①TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 066169 号

责任编辑:贺志洪

封面设计:傅瑞学

责任校对:李 梅

责任印制:宋 林

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795764

印 装 者:清华大学印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:10.25

字 数:234 千字

版 次:2012 年 9 月第 1 版

印 次:2012 年 9 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:22.00 元

产品编号:047265-01





液压传动技术与其他工业技术一样,节能是一项非常重要的技术课题之一,在当今创建节约型社会和节能型企业中,将节能意识融于液压系统设计与改造过程中,是非常必要的。目前,国内全面介绍液压系统节能技术的书籍较少,液压技术的设计和使用人员只能通过查阅各类手册或教科书中的零星材料。本书编者对当前液压设备节能技术进行了市场调研,查阅了大量相关的技术文献与资料,在全面探讨液压系统节能技术的研究现状、技术水平和发展趋势的基础上,编写了《液压节能技术》,以期对从事液压机械的技术与科研人员提供背景资料。

本书以技术实用、全面,语言通俗易懂为编写指导思想,全面系统地介绍了液压节能技术的理论与方法。第一章是液压节能技术概述,主要阐述液压传动与控制技术的基本原理、特点及应用,分析了液压系统节能原理;第二章是节能液压系统设计与仿真,主要介绍节能液压系统设计的一般方法、步骤与液压控制系统的建模与仿真初步知识;第三章是负载敏感节能技术,主要介绍负载敏感节能技术原理、分类及应用;第四章是能量回收节能技术,对各类能量回收节能原理与应用进行了介绍;第五章是变频节能技术;第六章是液压节能技术综合应用,主要就液压节能技术在挖掘机、电梯和注塑机三种典型液压设备上的应用进行综合分析。

本书由温州职业技术学院张忠远、王锋编写。其中,张忠远编写第一、二、三、六章;王锋编写第四、五章及附录。

由于编者水平有限,书中难免有不妥之处,恳请广大读者和从事液压技术的专家学者与同行批评指正。

编 者

2012年5月



液压节能技术概述

第一节 液压传动概述

一、液压技术的基本原理及特征

一部完整的机器是由原动机、传动机构及控制部分、工作机(含辅助装置)等组成的。原动机包括电动机、内燃机等。工作机即完成该机器工作任务的直接工作部分,如剪床的剪刀,车床的刀架、车刀、卡盘等。由于原动机的功率和转速变化范围有限,为了适应工作机的负载力和工作速度变化范围较宽,以及其他操纵性能的要求,在原动机和工作机之间设置了传动机构,其作用是把原动机输出的功率经过变换后传递给工作机。

传动机构通常分为机械传动、电气传动和流体传动。流体传动是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的传动。它包括液压传动和气压传动。

1. 液压传动的基本原理

如图 1-1 所示为液压千斤顶工作原理。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小活塞 3、单向阀 4 和单向阀 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动,小活塞下端油腔容积增大,形成局部真空,这时单向阀 4 打开,通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油;用力压下手柄,小活塞下移,小活塞下腔压力升高,单向阀 4 关闭,单向阀 7 打开,下腔的油液经管道 6 输入举升大油缸 9 的下腔,迫使大活塞 8 向上移动,顶起重物。再次提起手柄吸油时,单向阀 7 自动关闭,使油液不能倒流,从而保证了重物不会自行下落。不断地反复扳动手柄,就能不断地把油液压入举升缸下腔,使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11,举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱,重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

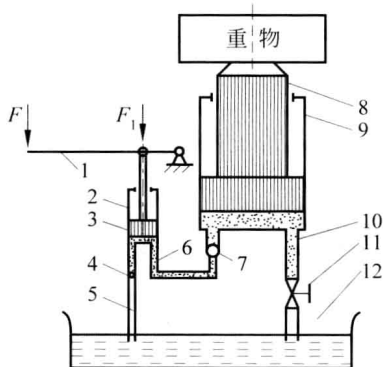


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—杠杆手柄；2—小油缸；3—小活塞；4,7—单向阀；5—吸油管；
6,10—管道；8—大活塞；9—大油缸；11—截止阀；12—油箱

通过对上面液压千斤顶工作过程的分析,可以初步了解液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时,小油缸 2 输出压力油,是将机械能转换成油液的压力能,压力油经过管道 6 及单向阀 7,推动大活塞 8 举起重物,是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油液容积的多少。由此可见,液压传动是一个不同能量的转换过程。

由以上分析,可以总结出液压传动的特点:①用具有一定压力的液体来传动;②传动中必须经过两次能量转换;③传动必须在密封容器内进行,而且容积要进行变化。

2. 液压传动的力比例关系、运动关系和功率关系

(1) 力比例关系

如图 1-2 所示液压千斤顶简化模型。当大活塞上有重物负载 W 时,大活塞下腔的油液就将产生一定的压力 p , $p=W/A_2$ 。根据帕斯卡原理“在密闭容器内,施加于静止液体上的压力将以等值同时传到液体各点”,因而要顶起大活塞及其重物负载 W ,在小活塞下腔就必须产生一个等值的压力 p ,也就是说小活塞上必须施加力 F_1 , $F_1=pA_1$,因而有

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$

或

$$\frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad (1-1)$$

式中, A_1 、 A_2 分别为小活塞和大活塞的作用面积; F_1 为杠杆手柄作用在小活塞上的力。

式(1-1)是液压传动中力传递的基本公式。由于 $p=W/A_2$, 因此,当负载 W 增大时,

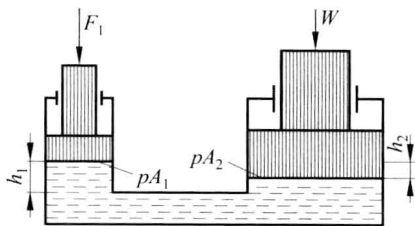


图 1-2 液压千斤顶简化模型

流体工作压力 p 也要随之增大,也即 F_1 要随之增大;反之若负载 W 减小,流体压力就减低, F_1 也就随之减小。由此建立了一个重要的基本概念,即在液压传动中工作压力取决于负载,而与流体的流入多少无关。

(2) 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、油管的变形,从图 1-2 可以看出,被小活塞压出的油液的体积必然等于大活塞向上升起后大缸扩大的体积,即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-2)$$

式中, h_1 、 h_2 分别为小活塞和大活塞的位移。

从式(1-2)可知,两活塞的位移和两活塞的面积成反比,将 $A_1 h_1 = A_2 h_2$ 两端同除以活塞移动的时间 t 得

$$A_1 \frac{h_1}{t} = A_2 \frac{h_2}{t}$$

即

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1-3)$$

式中, v_1 、 v_2 分别为小活塞和大活塞的运动速度。

从式(1-3)可以看出,活塞的运动速度和活塞的作用面积成反比。

单位时间内液体流过截面积为 A 的某一截面的体积,称为流量 q ,即

$$q = Av$$

因此

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1-4)$$

如果已知进入缸体的流量 q ,则活塞的运动速度为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-5)$$

调节进入缸体的流量 q ,即可调节活塞的运动速度 v ,这就是液压传动能实现无级调速的基本原理。从式(1-5)可得到另一个重要的基本概念,即活塞的运动速度取决于进入液压缸的流量,而与流体压力大小无关。

(3) 功率关系

由式(1-1)和式(1-3)可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1-6)$$

式(1-6)左端为输入功率,右端为输出功率,这说明在不计损失的情况下输入功率等于输出功率,即

$$P_w = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = pq \quad (1-7)$$

由式(1-7)可以看出,液压传动中的功率 P_w 可以用压力 p 和流量 q 的乘积来表示,压力 p 和流量 q 是流体传动中最基本、最重要的两个参数,它们相当于机械传动中的力和速度,它们的乘积即为功率。

从以上分析可知,液压传动是以液体的压力能来传递动力的。

二、液压系统的组成与表示

1. 液压系统的组成

如图 1-3 所示,它由油箱、过滤器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油管、接头等组成。其工作原理如下:液压泵由电动机驱动后,从油箱中吸油。油液经过滤器进入液压泵,油液在泵腔中从泵入口低压到泵出口高压,在图 1-3(a)所示状态下,通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔,推动活塞使工作台向右移动。这时,液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

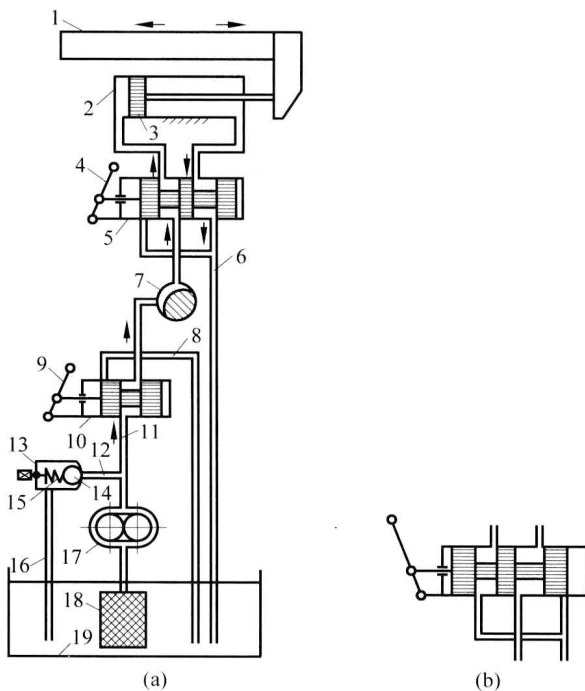


图 1-3 磨床工作台液压系统工作原理图

1—工作台; 2—液压缸; 3—活塞; 4—换向手柄; 5—换向阀; 6, 8, 16—回油管; 7—节流阀; 9—开停手柄;
10—开停阀; 11, 12—压力管; 13—溢流阀; 14—钢球; 15—弹簧; 17—液压泵; 18—过滤器; 19—油箱

如果将换向阀手柄转换成图 1-3(b)所示状态,则压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔、推动活塞使工作台向左移动,并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时,进入液压缸的油量增多,工作台的移动速度增大;当节流阀关小时,进入液压缸的油量减小,工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力,液压缸必须产生一个足够大的推力,这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大,缸中的油液压力越高;反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力

决定于负载。

从上述例子可以看出,液压传动是以液体作为工作介质来进行工作的,一个完整的液压传动系统由以下几部分组成。

(1) 动力元件:是将原动机所输出的机械能转换成液体压力能的元件,其作用是向液压系统提供压力油,液压泵是液压系统的动力元件。

(2) 执行元件:把液体压力能转换成机械能以驱动工作机构的元件,执行元件包括液压缸和液压马达。

(3) 控制元件:包括压力、方向、流量控制阀,是对系统中油液压力、流量、方向进行控制和调节的元件,如换向阀即属控制元件。

(4) 辅助元件:除上述三个组成部分以外的其他元件,如管道、管接头、油箱、过滤器等为辅助元件。

(5) 工作介质:传递能量的流体,即液压油。

2. 液压系统的图形符号

图 1-3 所示的液压系统图是一种半结构式的工作原理图。它直观性强,容易理解,但难以绘制。可否使用图形符号使液压系统图简单明了,且便于绘图?

我国已经制定了一种用规定的图形符号来表示液压原理图中的各元件和连接管路的国家标准,对于这些图形符号有以下几条基本规定。

(1) 符号只表示元件的职能,连接系统的通路,不表示元件的具体结构和参数,也不表示元件在机器中的实际安装位置。

(2) 元件符号内的油液流动方向用箭头表示,线段两端都有箭头的,表示流动方向可逆。

(3) 符号均以元件的静止位置或中间零位置表示,当系统的动作另有说明时,可作例外。

图 1-4 所示为图 1-3(a)系统用液压系统图形符号绘制的工作原理图。

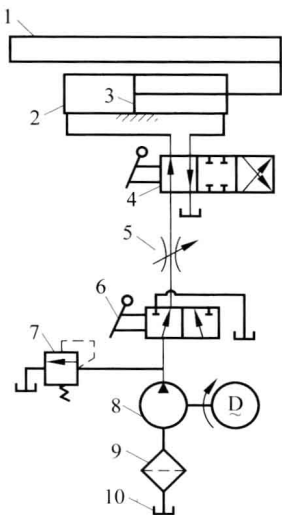


图 1-4 磨床工作台液压系统的图形符号图

- 1—工作台; 2—液压缸; 3—油塞; 4—换向阀;
5—节流阀; 6—开停阀; 7—溢流阀;
8—液压泵; 9—过滤器; 10—油箱

三、液压系统的分类与应用

液压系统的分类方式很多,下面简单介绍几种常见的分类方式。

1. 开式系统与闭式系统

按照液压回路的基本构成可以把液压系统划分为开式系统和闭式系统。开式系统的泵从油箱抽油,系统回油返回油箱。它需要较大容积的油箱。如图 1-4 所示的磨床工作

台液压系统即为开式系统。

闭式系统是执行元件排出的油液返回泵的进油口,多用于车辆、起重运输机械等设备中。如图 1-5 所示,补油泵 1、变量泵 3 和定量马达 5 的泄漏,使低压管路始终保持一定的压力,改善了变量泵 3 的吸油条件,且可置换部分发热油液,降低系统温升;安全阀 4 防止回路过载;溢流阀 6 用于调定补油泵 1 的供油压力。

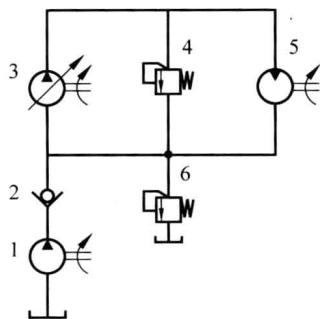


图 1-5 闭式系统

1—补油泵; 2—单向阀; 3—变量泵;
4—安全阀; 5—定量马达; 6—溢流阀

2. 液压传动系统与液压控制系统

液压传动系统一般为不带反馈的液压系统,如图 1-4 和图 1-5 所示的系统即为液压传动系统。它是以传递动力为主,传递信息为辅,往往追求传动特性的完善。其原理方框图如图 1-6 所示。

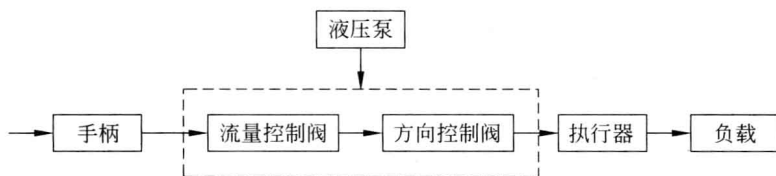


图 1-6 开环控制液压系统原理方框图

液压控制系统多采用比例阀、伺服阀等电液控制阀组成带反馈的闭环系统,以传递信息为主,传递动力为辅,追求控制特性的完善。由于加入了检测反馈装置,故其控制质量受工作条件变化的影响较小。其原理方框图如图 1-7 所示,具体关于液压控制系统的阐述见本章第二节内容。

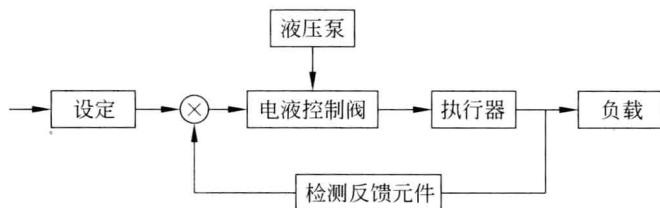


图 1-7 闭环控制液压系统原理方框图

3. 阀控系统、泵控系统 & 执行器控制

阀控系统通过改变节流口开度控制流量,从而控制执行元件的运动速度。阀控系统多用于各种液压机械设备。由于存在节流和溢流损失,故系统效率较低。如图 1-4 所示,通过改变节流阀 5 的开度控制进入液压缸 2 的流量,从而控制负载(工作台)的运动速度。

泵控系统是通过改变变量泵的排量或通过多定量泵组合来控制流量,进行无级或有级速度控制。泵控系统多用于压力加工机械、塑料机械等大功率液压设备。由于无节流或溢流损失,故效率较高。如图 1-5 所示,通过改变变量泵 3 的排量来控制流量,从而调

节定量马达 5 的转速。

执行器控制系统主要通过改变变量液压马达排量或多定量马达组合工作,从而控制速度,如图 1-8 所示。

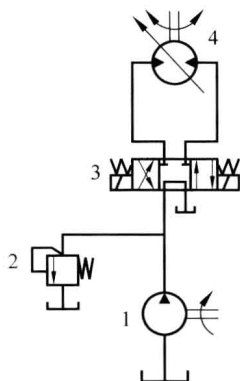


图 1-8 变量液压马达控制系统

1—定量泵；2—溢流阀；3—三位四通电磁换向阀；4—变量液压马达

第二节 液压控制技术概述

液压控制系统具有容量大、响应速度快、系统刚度大和控制精度高等突出优点。因此在各类机床、重型机械、建筑机械、汽车、大型试验设备、航空航天、船舶和武器装备等领域获得了广泛应用。液压控制系统主要包括电液比例控制系统和电液伺服控制系统。这里主要介绍电液比例控制系统。

一、电液比例控制系统

在液压传动与控制中,能够接受模拟式或数字式信号,使输出的流量或压力连续成比例地受到控制,都可以称为电液比例控制系统。电液比例控制技术作为连接现代微电子技术和大功率工程控制设备之间的桥梁,已经成为现代控制工程的基本技术构成之一,在近年来得到了迅速发展。它与传统的电液伺服控制技术相比,具有可靠、节能等明显优点,已经赢得了广泛的应用领域,形成颇具特色的技术分支。目前,已引起了工程控制界的广泛重视,在机电一体化和工程设备实现计算机控制的技术进步过程中,将会获得更加广泛的应用。

1. 电液比例控制系统组成

电液比例控制系统,尽管其结构各异,功能也不相同,但都可归纳为由功能相同的基本单元组成的系统,如图 1-9 所示。图 1-9 中虚线所示为可能实现的检测与反馈,包含了外反馈回路控制系统的才称为闭环控制系统,不包含外反馈回路控制系统的称为开环控制系统。如果存在比例阀本身的内反馈,也可以构成实际的局部闭环控制。

组成电液比例控制系统的基本元件有以下几种。

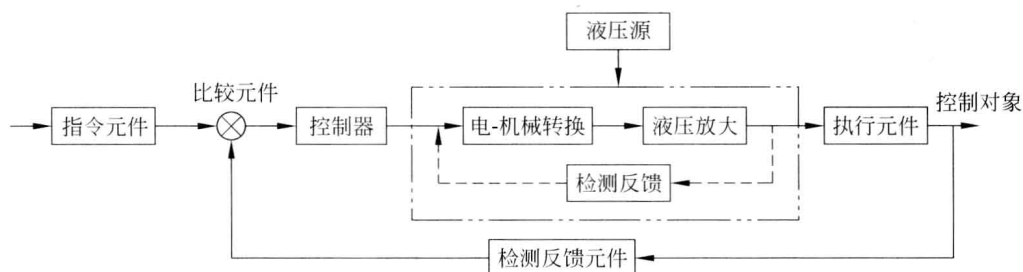


图 1-9 电液比例控制系统方框图

(1) 指令元件

指令元件是给定控制信号的产生与输入的元件,也可称为编程器或输入电路。在有反馈信号存在的情况下,它给出与反馈信号有相同形式和量级的控制信号。电位器或电位器组就是常见的指令元件之一。它也可以是信号发生装置或程序控制器。指令信号可以手动设定或程序设定。最常见的是手动预置设定,运行时用程序选通。

(2) 比较元件

比较元件的功能是把给定输入与反馈信号进行比较,得出偏差信号作为电控器的输入。进行比较的信号必须是同类型的,比例电控器的输入量为电学量,因此反馈量也应转换成同类型的电信号。如遇到不同类型的量作比较,在比较前要进行信号类型转换,例如 A/D 转换或 D/A 转换,或机械-电转换等。

(3) 控制器

控制器通常被称做比例放大器。由于比例阀内的电磁铁需要的控制电流较大(0~800mA)而偏差控制电流较小,不足以推动电磁铁工作。所以要对控制信号进行功率放大,且偏差信号的类型或形状都不一定能满足高性能控制的要求。控制器的作用是对输入的信号进行加工、整形和放大,使其达到电-机械转换装置的控制要求。

(4) 比例阀

比例阀内部又可分为两大部分,即电-机械转换器及液压放大元件,还可能带有阀内的检测反馈元件。电-机械转换器是电液的接口元件。它把经过放大后的电信号转换成与其成比例的力或位移。这个输出力或位移改变了液压放大级的控制液阻,经液压放大作用,把不大的电气控制信号放大到足以驱动系统负载。这是整个系统的功率放大部分。

(5) 执行元件

执行元件通常指液压缸或液压马达,它是系统输出装置,用于驱动负载。

(6) 检测反馈元件

对于闭环控制需要加入检测反馈元件。它检测被控量或中间变量的实际值,得出系统的反馈信号。检测反馈元件有位移传感器、测速发电机等。检测反馈元件往往又是信号转换器(例如机-电、机-液转换),用于满足比较的要求。从框图中可见,检测反馈元件有内环和外环之分。内环检测反馈元件通常包含在比例阀内,用于改善比例阀的动、静态特性。外环检测反馈元件直接检测输出量,用于提高整个系统的性能和控制精度。

2. 液压开关控制与比例控制比较

图 1-10 所示为一个采用开关控制的液压传动系统,它是一个常见的进口节流调速系

统。当 1DT 通电时液压油经换向阀左位进入液压缸的无杆腔,其速度决定于被选中的调速阀的开口面积。选中的调速阀由 3DT 至 n DT 是否通电来决定。若要在循环中变换多级速度,则要求调速阀的个数与速度的级数相同,而速度通过调节节流口的面积来预置。速度的换接利用行程开关发信转换。反向时 2DT 通电,液压缸快速返回。该回路只能实现正向的有级调速。

一个能实现正、反向无级调速的开环比例调速系统如图 1-11 所示。

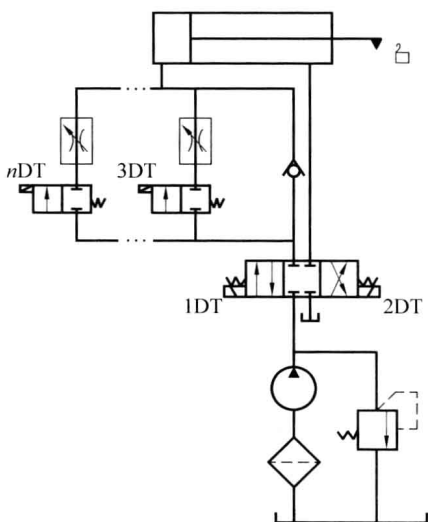


图 1-10 开关控制液压传动系统

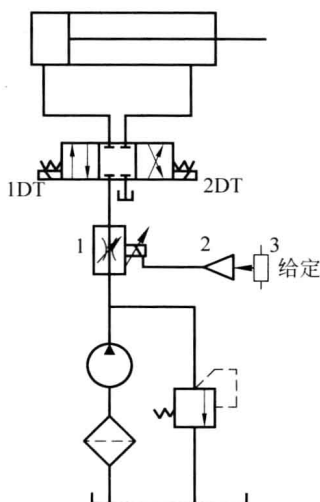


图 1-11 开环比例调速系统

1—比例调速阀；2—比例放大器；3—给定电位器

比例调速阀的输出流量与给定输入电压成正比。方向则取决于 1DT 或 2DT 中哪一只电磁铁通电。通过改变给定信号的大小可以方便地实现无级调速。与前面开关控制比较,系统功能增加了,性能也更好。但结构却大为简化。由图可见,系统容易实现双向无级调速,且可以扩展到对多个执行器分别进行调速控制。如采用比例方向阀进行调速,如图 1-12 所示,则系统可以更简化。图 1-12 所示为闭环比例调速系统。它是在开环控制的基础上增加了速度反馈元件而构成的。速度传感器产生与速度成正比的电信号,经比例放大器放大后,与给定控制信号比较,得出偏差信号。偏差信号经功率放大后用于控制比例电磁铁 A 或 B,从而控制阀开口量及方向,达到速度调节的目的。

比较上述三个系统。图 1-11 所示的系统,由于不对被控量进行检测和反馈,因而当出现被控量与期望值的偏差时无法进行修正,称为开环控制系统。这类系统一般控制精度不高。

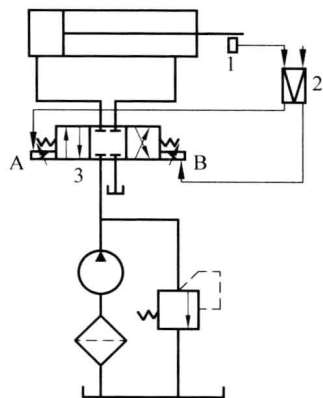


图 1-12 闭环比例调速系统

1—速度传感器；2—比例放大器；3—比例方向阀

但与开关式液压控制相比,控制质量和方式都有改进与简化。它可使被控量复现控制信号的变化规律。这类开环系统由于不存在信号和能量的反馈,因而系统稳定性好,容易设计,是目前最常见的比例控制系统。

图 1-12 所示系统引入了反馈回路,称为闭环控制系统。它用被控量与输入量(给定)的偏差信号作为真正的控制信号,最后使输出量尽量与输入量一致。在受到干扰时仍能消除偏差或把偏差控制在要求的精度内。系统的输出能较准确地复现输入信号的变化规律。但由于有反馈的存在,其稳定性成为设计的主要考虑问题,特别是比例阀工作在较大的范围时,其非线性的影响不能忽略。

3. 比例技术与伺服技术的比较

一般来说,比例技术与伺服技术的区别主要是液压控制系统中采用的控制元件不同。电液比例控制系统(含开环控制和闭环控制)采用的控制元件为比例阀和比例泵,液压伺服控制系统(只有闭环控制)采用的控制元件为伺服阀。

两者的区别与联系具体表现在以下几个方面:

(1) 控制元件的应用范围不同。比例系统可代替普通的液压系统和部分伺服系统。其中,比例压力阀和比例流量阀可分别代替普通的手调压力阀与手调流量阀。采用比例压力阀的比例压力控制系统和采用比例流量阀的比例流量控制系统与伺服系统没有可比性。这两类系统的特性主要与普通的液压系统进行比较。比例方向阀既可代替由普通电磁换向阀(开关型)和手调节流阀组成的流量与方向控制单元,又与电液伺服阀十分相似,故比例技术与伺服技术的比较主要在采用比例方向阀的系统与采用伺服阀的系统中进行。

(2) 控制元件采用的驱动装置(电-机械转换器)不同。电液比例控制元件采用的驱动装置为比例电磁铁。这种驱动装置的特点是感性负载大、电阻小、电流大、驱动力大,但响应低。电液伺服控制元件采用的驱动装置为力马达或力矩马达(动圈式电-机械转换器),其电-机械转换器输出功率较小、感抗小、驱动力小,但响应快。

(3) 控制元件的性能参数不同。比例阀与伺服阀的性能比较如表 1-1 所示。

表 1-1 比例阀与伺服阀的性能比较

特 性	元 件	比 例 阀		
		伺 服 阀	伺 服 比 例 阀	无 电 反 馈 比 例 阀 带 电 反 馈 比 例 阀
滞环/%		0.1~0.5	0.2~0.5	3~7 0.3~1
中位死区/%		$\pm 0 \sim 5$		$\pm 5 \sim 20$
频宽/Hz		100~500	50~150	10~50 10~70
过滤精度(ISO 4406)		13/9~15/11	16/13~18/14	
应用场合		闭环控制系统		开环或闭环控制系统

伺服比例阀的静态特性与伺服阀基本相同,但动态响应偏低(介于普通比例阀与伺服阀之间),普通比例阀(含无电反馈比例阀和带电反馈比例阀)的死区大、滞环大、动态响应低。

(4) 应用的侧重点不同。电液伺服阀几乎没有零位死区,通常工作在零位附近,特别强调零位特性只应用在闭环控制系统。

伺服比例阀基本没有零位死区,既可以在零位附近,也可以在大开口(大流量工况)下运行。因此,伺服比例阀要考虑整个阀芯工作行程内的特性。伺服比例阀主要用于对性能要求通常不特别高的闭环控制系统。

普通的比例方向阀(含比例流量阀)对于零位特性没有特殊要求,它主要工作于开环控制系统以及闭环控制系统。当应用于速度控制系统(有差控制)中时,必须在比例放大器中采取快速越过死区的措施来减小死区的影响,并使之工作在大开口状态。

(5) 阀芯结构及加工精度不同。普通比例换向阀阀芯加阀体的结构,阀体兼做阀套,一般具有互换性。伺服阀和伺服比例阀采用阀芯加阀套的结构,二者配做成组件,加工精度要求极高,不具备互换性。比例阀与伺服阀在结构和加工精度上的这些区别,直接导致价格上的差异,也是对油液过滤精度要求不同的原因。而过滤精度要求不同,导致系统维护的难易程度和维护成本不同。

(6) 中位机能种类不同。比例方向阀具有与普通方向阀极为相似的中位机能,这有利于比例阀适应于更多的设备工况,伺服阀中位机能只有“O”型,适应工况单一。

(7) 阀的额定压降不同。阀的额定压降定义为通过额定流量时阀上形成的压力差,是阀中两个阀口(P到A,B到T)的压降之和。为了保持电液伺服阀的响应特性,伺服阀需要很高的阀口压降,它的性能指标也是在这种工况下给出的。

伺服比例阀对阀口压差没有严格要求,既能工作于大压差工况,也能在小压差下工作,但性能会有所降低。一般情况下,表征单级伺服比例阀额定流量的单阀口压差与伺服阀一样,表征多级伺服比例阀额定流量的单阀口压差与一般比例阀相同。

普通电液比例方向阀对阀口压差也没有严格要求,既能工作于大压差工况,也能在小压差下工作,表征其额定流量的单阀口压差一般为0.5MPa或1.5MPa。

伺服阀和比例方向阀对额定压降的不同要求,导致比例系统的效率较高,伺服系统的效率较低,两种系统的运行成本也不同。

总体上讲,电液比例控制的主要优点:结构简单,使用元件较少,对污染不敏感;系统节能效果好。

二、近代控制策略在液压控制系统中的应用

在近代电液伺服系统中,非线性、参数变化、外负载干扰和交叉干扰对系统控制性能的影响至关重要。开展对近代电液伺服系统的非线性控制的研究,对推广近代电液伺服系统的应用和建立近代电液伺服系统的设计理论与控制方法的完整体系具有重要的指导意义。

1. PID 控制

与经典控制理论相应而发展起来的控制策略,是以PID控制为代表的。近代控制理论和智能控制理论仍然吸取了PID控制的一些基本思想。PID控制基于系统误差的现实因素(P)、过去因素(I)和未来因素(D)进行线性组合来确定控制量,具有结构简单、易于实现等特点,至今在电液控制系统中仍有广泛的应用。

传统的PID采用线性定常组合方案,难以协调快速性和稳态性之间的矛盾;在具有参数变化和外干扰的情况下,其鲁棒性也不够好。随着对系统性能要求的不断提高,传统

的 PID 控制往往不能满足要求。在这种情况下,吸取自适应控制和智能控制的基本思想并利用计算机技术的优势,对传统的 PID 控制进行改造形成自适应 PID、模糊 PID、智能积分 PID 和非线性 PID 等,使其适应新的要求。

2. 人工智能控制(AIC)

20 世纪 60 年代中期,美国最早开展了对智能控制的研究。智能控制是自动控制、运筹学和人工智能三个主要学科相互渗透、相互结合的产物。AIC 通过对系统特征的描述和提取、符号和环境的识别、知识库和推理机的开发以及控制规律的在线学习和修正,使系统对实际环境或过程有一定的组织、决策和规划的能力,能模拟人的某些智能和经验来控制对象。智能控制的发展与人工智能的发展密切相关。人工智能研究主要有两种不同的“流派”,一种是“功能派”;另一种是“结构派”。前者也称为“古典人工智能”,这种人工智能实际上是一种基于知识的系统,它根据人的思维活动和智能行为的心理特征,利用计算机软件与心理学方法,从宏观功能上模拟人的智能。人们利用人工智能语言建立了模拟人类专家能力的“专家系统”,成功地应用在医疗诊断、化学分析和过程控制等领域中。模糊控制(FC)和精确控制一样是一种闭环控制系统,其不同之处只是前者在控制器中采用模糊量和模糊推理。模糊量与精确量之间的转换以及模糊推理的规则,则是用专家的经验予以确定的。因而可以认为模糊控制是控制中的专家系统。模拟控制适用于被控参量无精确的表示方法和被控对象各种参数之间无精确的相互关系的情况。在这种情况下,FC 比精确控制优越,液压伺服系统正属于此类情况(如影响系统动态品质的液压固有频率 ω_n 、阻尼比 ξ_n 以及流量增益 K_{sv} 等,它们的准确值与一些软量有关,难以算准)。

FC 的主要不足之处是控制精度较差,所以必须对经典的 FC 进行适当的改造才能使其在液压控制领域获得广泛应用。古典 AIC 的基本特征是运用一些符号组成一个具有“IF CONDITION, THEN ACTION”的推理链,属于产生式系统,目前仍在广泛应用。AIC 的另一流派则是根据人类大脑的生理结构原理建立的脑模型——人工神经网络理论,基于神经网络模型和算法实现的控制称为神经网络控制。

3. 自适应控制(AC)

如果在设计控制系统时,不完全知道系统的参数或结构,要求一边估计未知参数,一边修正控制作用,这就是自适应控制问题。AC 可分为两大类,一类以自校正控制(STC)为代表;另一类以模型参考自适应控制(MRAC)为代表。STC 一般适用于具有慢时变的对象调节,而具有参数突变(如试验机伺服系统存在刚度突变)和突加外负载干扰的电液伺服系统往往不能满足要求。因此,液压伺服系统采用的 AC 大多为 MRAC 或其变形。

AC 的不足之处是对被控对象的数学模型(阶次和相对阶)仍有严格的要求,此外诸如持续激励、慢时变、严格真实和波波夫不等式等条件也制约了 AC 具有更强的鲁棒性。恰当吸取其他控制策略的长处,研究限制条件少、算法简便和鲁棒性强的 AC 是近年来发展的方向。

4. 变结构控制(VSC)

VSC 是一种根据系统状态偏离滑模的程度来变更控制器的结构(控制律或控制器参数),从而使系统按照滑模规定的规律进行运行的一种控制方法。VSC 本质上也属于一种自适应控制,滑模从某种意义上看属于参考模型;VSC 同时还孕育了智能控制的基本

思想。VSC 系统与传统的控制系统相比,控制规律简单,可以协调动态和稳态性能间的矛盾,特别是其滑动模态(SM)对系统参数变化和外部干扰具有完全不变性。VSC 的缺点是系统存在抖动—非线性(切换滞后)引起的自振。可以通过选择合适的滑态可达条件,使抖动影响减小到工程许可的范围内。

目前,液压伺服系统采用的 VSC 和滑模可达条件大多针对连续系统导出,而工程实现大多由计算机完成,这是一种近似方法,系统存在较严重的抖动现象,并且难以用于采样周期较长的控制系统。近年来,基于离散控制系统的 VSC(DVSC)已有进展,此外还出现了采用模糊控制和神经网络控制实现的离散变结构控制。

5. 鲁棒控制

在实际问题中,系统的模型可能包含不确定因素,希望这时控制系统仍有良好的性能,这就是鲁棒控制问题。近年来出现了 H_∞ 设计方法,要求频率响应函数的 H_∞ 模的上确界极小。这种方法成功地应用了经典函数论和算子理论。在 H_∞ 模约束下已成功解决了多变量定常系统的镇定补偿问题。 H_∞ 方法既保留状态空间方法在计算上的优点,又有频率法的直观性,加上 H_∞ 控制器的设计全部工作可由 MATLAB 语言实现,所以对工程技术人员很有吸引力。但当系统发生不是小扰动时, H_∞ 下的优化是否能保持次优性还不清楚。

6. 神经网络控制

神经网络控制(NNC)是模仿人类的感觉器官和脑细胞的工作原理而工作的。它可以同时接收大量信息,并且对它们进行处理,结果也是平行输出的一批信息。在系统中硬件是模仿神经细胞的网络,软件则是模仿神经细胞的工作方式,即每个神经元接收信号按“乘权值后相加”,输出信号按“阈值”大小确定。这样做的优点是可以快速地处理复杂的事物,但是要求在处理某一事物之前对系统进行教学,以便使系统通过“学习”求出“权值”和“阈值”。教学内容来自专家的经验(有教师学习)或系统期望的动态行为(无教师学习)。学习规则主要有 Hebb 学习规则、Delta 规则、梯度下降法和基于 Lyapunov 理论的自适应学习规则等。

NNC 的工作方式目前主要有两大类,一类是离线学习网络参数(称为训练),控制时由网络回忆期望的控制信号;另一类是在线更新网络参数(此时为提高初始鲁棒性,常将 NNC 与常规反馈控制器复合),学习的最终目标是使反馈控制器不起作用。前者适合于重复控制(如焊接机器人的轨迹控制和化工工艺控制等),后者适用于工作过程中给定和参数经常变化的对象的控制。

第三节 液压系统节能技术概述

当今世界,经济迅猛发展,而能源供应日趋紧张,节能作为一个重要的问题引起了各行业的广泛关注。液压系统的节能就是要提高液压系统能量的利用率,即提高液压系统的效率。在液压系统的设计和改造中,人们往往把着眼点放在系统的功能、可靠性等指标上,对能耗指标考虑较少,为此存在各种不必要的损失,同时也会造成系统发热。但为了维持理想的油温,又不得不采取各种降温措施,这样不仅加大了改造的资金投入,也加剧