



21 世纪 高 校 规 划 教 材

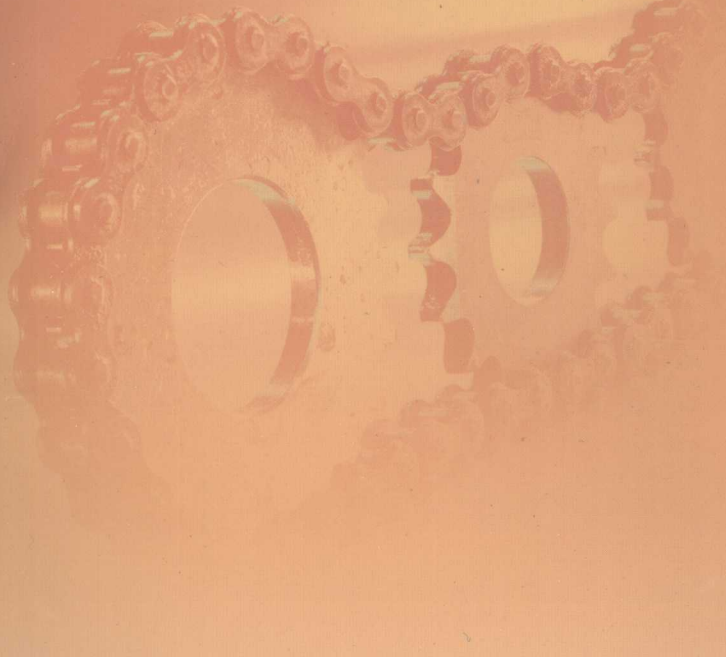
21SHIJI GAOXIAO GUIHUA JIAOCAI

液压与气压传动

主编 / 刘乐平 陈为国 戴哲敏

YEYA YU QIYA CHUANDONG

江西高校出版社



YEYA YU QIYA CHUANDONG

责任编辑 / 黄红冈 封面设计 / 邓家珏 责任印制 / 余永珍

ISBN 978-7-81132-192-0



9 787811 321920 >

定价：29.00 元



21 世 纪 高 校 规 划 教 材

21SHIJI GAOXIAO GUIHUA JIAOCAI

液压与气压传动

主 编 / 刘乐平 陈为国 戴哲敏

副主编 / 胡云堂 陈红江

江西高校出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/刘乐平,陈为国,戴哲敏主编. —南昌:江西高校出版社, 2008.12

ISBN 978 - 7 - 81132 - 192 - 0

I. 液... II. ①刘... ②陈... ③戴... III. ①液压传动 ②气压传动 IV. TH137 TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008) 第 212548 号

出版发行	江西高校出版社
社 址	江西省南昌市洪都北大道 96 号
邮 政 编 码	330046
总编室电话	(0791)8504319
销 售 电 话	(0791)8513417
网 址	www.juacp.com
印 刷	南昌市光华印刷有限责任公司
照 排	江西太元科技有限公司照排部
经 销	各地新华书店
开 本	787mm × 1092mm 1/16
印 张	18.25
字 数	500 千字
版 次	2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷
印 数	1 ~ 3000 册
书 号	ISBN 978 - 7 - 81132 - 192 - 0
定 价	29.00 元

版权所有 侵权必究

前 言

液压与气压传动作为机电一体化技术的重要组成部分,与微电子和计算机技术的结合越来越紧密,应用范围越来越广,并在不断地快速发展。因此,液压与气压传动技术方面的人才需求日益增长,对人才的培养也提出了新的要求。本教材充分考虑人才培养的新模式,以构建液压与气压传动基础知识和培养设计应用能力为导向,对流体力学理论知识仅提取和液压与气压传动密切相关的内容并简化推导,为讲述液压与气压元件的结构和工作原理、分析和设计液压与气压系统作铺垫。全书为避免内容重复,分成液压传动和气压传动两大部分。液压传动中的元件、基本回路两大内容着重于工作原理、特性分析和选用,液压系统部分则侧重于综合分析、计算方法和设计应用;气压传动着重于工作原理和设计应用,特别在气源处理、控制元件和气动程序控制系统设计方法等内容上加大了篇幅,以满足实际应用的需要。本教材每章均编写了内容提要,并提示了该章的重点和难点,同时编写了少量习题。书后附有常用液压与气动元件图形符号、液压与气压传动常用名词术语的中英文对照表,为读者自学、实际应用和提升中英文资料的阅读和互译能力提供了一定程度的帮助。

本书适用于普通工科院校、各类成人高校、自学考试等机械大类各专业使用,也可供从事液压与气压传动技术的专业技术人员参考。

本书由华东交通大学刘乐平、南昌航空大学陈为国和景德镇陶瓷学院戴哲敏任主编,胡云堂、陈红江任副主编。参加本书编写工作的人员有:刘乐平(绪论、第1、7、10章)、陈为国(第3章、第5章第1~5节、第8章)、戴哲敏(第4、14章)、胡云堂(第6章、附录一)、胡国良(第2、15章)、吴海燕(第12、13章)、张朝磊(第16章)、陈红江(第9章第1节)、熊中侃(第9章第2节)、周晖(第11章第1节)、王广庆(第11章第2节)、闵旭光(第11章第3节)、林伟明(第17章)、王希(第5章的第6~8节)、吴萍(附录二)。全书由刘乐平统稿和定稿。

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏和错误,恳请读者指正。

编者

2008年11月

目 录

绪 论	1
-----	---

第一部分 液压传动

第一章 液压传动概述	2
本章提要	2
§ 1.1 液压传动的工作原理和特征	2
§ 1.2 液压传动系统的组成	4
§ 1.3 液压传动的优缺点	6
§ 1.4 液压传动及其控制技术的应用和发展	7
练习题	8

第二章 液压流体力学基础	9
本章提要	9
§ 2.1 液压油液	9
§ 2.2 液体静力学	14
§ 2.3 液体动力学	17
§ 2.4 液体在管道中流动的特性	22
§ 2.5 液体在孔口和缝隙中流动的特性	25
§ 2.6 气穴现象的危害和防止措施	31
§ 2.7 液压冲击的危害和防止措施	32
练习题	33

第三章 液压泵	36
本章提要	36
§ 3.1 液压泵概述	36
§ 3.2 齿轮泵	39
§ 3.3 叶片泵	43
§ 3.4 柱塞泵	49

§ 3.5 液压泵的噪声及控制	53
§ 3.6 液压泵的选用原则	54
练习题	55
第四章 液压缸与液压马达	56
本章提要	56
§ 4.1 液压缸	56
§ 4.2 液压马达	67
练习题	72
第五章 液压控制阀	74
本章提要	74
§ 5.1 概 述	74
§ 5.2 压力控制阀	76
§ 5.3 流量控制阀	88
§ 5.4 方向控制阀	95
§ 5.5 叠加阀和插装阀	105
§ 5.6 电液比例阀	110
§ 5.7 伺服阀	113
§ 5.8 电液数字阀	115
练习题	116
第六章 液压辅件	119
本章提要	119
§ 6.1 油 箱	119
§ 6.2 密 封	120
§ 6.3 管 件	123
§ 6.4 滤油器	125
§ 6.5 蓄能器	128
§ 6.6 热交换器及压力表辅件	130
练习题	132
第七章 常用液压基本回路	133
本章提要	133
§ 7.1 压力控制回路	133

§ 7.2 速度控制回路	140
§ 7.3 方向控制回路	154
§ 7.4 多执行元件工作的控制回路	156
§ 7.5 其他回路	161
练习题	163
第八章 典型液压控制系统举例和分析	165
本章提要	165
§ 8.1 液压系统的分析	165
§ 8.2 组合机床动力滑台液压系统	165
§ 8.3 外圆磨床液压系统	168
§ 8.4 YB32-200 型压力机液压控制系统介绍	171
§ 8.5 XS-ZY-250A 型注塑机液压控制系统介绍	176
§ 8.6 汽车起重机液压控制系统介绍	178
§ 8.7 电液伺服控制系统介绍	180
练习题	181
第九章 普通液压控制系统的设计	183
本章提要	183
§ 9.1 液压控制系统设计的基本步骤	183
§ 9.2 液压控制系统设计举例	190
练习题	195
第二部分 气压传动	
第十章 气压传动概述	196
本章提要	196
§ 10.1 气压传动及其特点	196
§ 10.2 气压传动系统的组成	197
§ 10.3 气压传动及其控制技术的应用和发展	198
练习题	198
第十一章 气压传动基础知识	199
本章提要	199
§ 11.1 空气的特性	199
§ 11.2 气体状态方程	202

§ 11.3 气体流动规律·····	204
练习题·····	208
第十二章 气源装置和气动辅助元件·····	209
本章提要·····	209
§ 12.1 气源装置·····	209
§ 12.2 气动辅助元件·····	214
练习题·····	219
第十三章 气动执行元件·····	220
本章提要·····	220
§ 13.1 气 缸·····	220
§ 13.2 气马达·····	226
练习题·····	227
第十四章 气动控制元件·····	228
本章提要·····	228
§ 14.1 压力控制阀·····	228
§ 14.2 流量控制阀·····	230
§ 14.3 方向控制阀·····	231
§ 14.4 气动逻辑元件·····	235
§ 14.5 气动比例阀和气动伺服阀·····	238
练习题·····	241
第十五章 气动基本回路·····	242
本章提要·····	242
§ 15.1 压力控制回路·····	242
§ 15.2 速度控制回路·····	243
§ 15.3 换向控制回路·····	245
§ 15.4 安全保护控制回路·····	246
§ 15.5 往复和顺序动作控制回路·····	247
§ 15.6 位置控制回路·····	248
§ 15.7 延时控制回路·····	249
§ 15.8 计数控制回路·····	249
§ 15.9 振荡回路·····	250

练习题·····	251
第十六章 气动程序控制系统设计·····	252
本章提要·····	252
§ 16.1 行程程序控制系统设计的一般步骤·····	252
§ 16.2 多缸单往复行程程序控制系统设计·····	254
§ 16.3 多缸多往复行程程序控制系统设计·····	260
练习题·····	262
第十七章 气压传动系统实例·····	263
本章提要·····	263
§ 17.1 气动钻床气压传动系统·····	263
§ 17.2 工具机床气液动力滑台气液控制系统·····	265
§ 17.3 工件夹紧气动系统·····	266
§ 17.4 气动机械手气压传动系统·····	266
练习题·····	267
附录一 常用液压与气动元件图形符号·····	268
附录二 液压与气压传动常用名词术语中英文对照·····	274
主要参考文献·····	281

绪 论

现代传动技术是机电工业的关键基础技术。现代传动技术主要承担能量传递、改变运动形态、实现对能量的分配和控制、保证传动精度和效率等功能,它是机电产品向高速化、自动化、高效率、高精度、高可靠性、轻量化、多样化方向发展的不可缺少的关键技术之一。它主要包括机械传动技术、流体传动技术和电气传动技术。其中,流体传动技术是以流体为工作介质进行能量转换、传递和控制的技术。

流体传动技术相对于机械和电气传动来说是一门较新的技术,但广义的流体传动却很古老,也很常见。例如,水车、风车利用流水或风的动能驱动石磨等机械,水力、风力发电机则将水力和风力转换成电能,铁匠炉旁的风箱反过来是把人的肢体运动能量转换成了风力,炸药用于开山放炮则是利用了爆炸瞬间产生的高压气体的压力能,等等。在近几十年中,流体传动技术已取得了令人瞩目的进步,其应用范围覆盖了各行各业,从包装业和材料处理到机床工具和金属切削,从航天和国防到食品加工,从船舶工业和海岸作业到农业机械,从塑料工业和射压造型到矿山和建筑工业,从文化娱乐业到医学工业,涉及到了人们生活的方方面面。

流体传动可分为两种主要形式:一种形式以利用流体动能做功为主,称为液力或风力传动;另一种形式以流体压力能做功为主,称为液压或气压传动。尽管液力或风力传动技术的应用非常广泛,限于篇幅,本书仅涉及液压与气压传动的相关内容。

第一部分 液压传动

第一章 液压传动概述

【本章提要】

本章通过两个繁简不同的例子详细阐述了液压传动的工作原理,介绍了液压系统的组成、液压系统的原理图表达方法、优缺点、液压技术的应用和发展。通过本章的学习,要求读者掌握液压传动的基本概念、工作原理和组成,了解其优缺点及应用场合。

重点:液压传动的概念、工作原理、组成和液压系统原理图的图形符号表示法。

难点:液压传动的工作原理、液压系统原理图的图形符号表示法。

§ 1.1 液压传动的工作原理和特征

1.1.1 液压传动的定义

液压传动是以液体为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式,是相对于机械和电气传动而独立存在的。液压传动和液力传动都是以液体作为工作介质来进行能量传递的,但液压传动利用的是液体的压力能,而液力传动利用的是液体的动能。

1.1.2 液压传动的工作原理

液压传动依据的是帕斯卡原理亦即静压传递原理,即:密闭容器中静止液体的任一点的压力产生变化都将以等值的方式传递到液体中的各个点。帕斯卡原理有四层含义:

① 压力是指液体单位面积上的力,即应力,单位为 N/m^2 ,与中学讲述的压强相似,但压强主要考虑量值,而压力既考虑量值还考虑方向,是矢量。

② 密闭容器是指容器中的液体是与外界大气隔离的。

③ 任一点的压力产生变化都将以等值的方式传递到液体中的各个点,指的是压力的变化量。由于重力作用等原因,液体中各点初始压力大小与方向可能各不相同,但受外力作用后造成的压力变化量却是相同的。

④ 帕斯卡原理成立的前提条件是液体在压力变化前后均为静止状态。在液压传动中实际应用时,液体并不一定是静止的,所以要排除液体流动动能的影响。但液体流动的动能影响很小时,帕斯卡原理仍然是成立的。

利用帕斯卡提出的静压传递原理有着经典的应用,如以小力产生大力,我们熟知的液压千斤顶便是其具体形式,为此我们通过其工作原理可以说明液压传动的工作原理。

如图 1.1 所示,负载 10 是液压千斤顶做功的对象,工作原理如下:关闭截止阀 6,当提起手柄 1 时,小液压缸 2 因密闭容腔增大而产生真空,油箱 7 的油液在大气压作用下打开吸

油单向阀3,小液压缸2吸入油液;当手柄1下压时,小液压缸2的油液产生高压,关闭吸油单向阀3,打开压油单向阀4,油液进入大液压缸9,作用在其活塞上,顶起负载10向上运动。如此循环往复,大液压缸9的活塞将一次次向上运动把负载10顶起到所需位置。当打开截止阀6时,大液压缸9的活塞通过把油液排回油箱而下降(或复位)。图中的小液压缸2、吸油单向阀3和压油单向阀4一起完成吸油与排油,将手柄1输入的机械能转换为油液的压力能输出,称为手动液压泵。大液压缸9将油液的压力能还原为机械能,顶起重物到所需位置,称为执行元件。液压千斤顶就是由手动液压泵和执行元件为主组成了最简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。

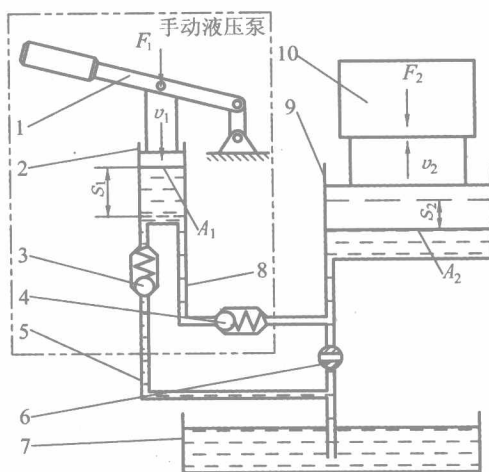


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

- 1 - 手柄 2 - 小液压缸 3 - 吸油单向阀
4 - 压油单向阀 5 - 吸油管 6 - 截止阀
7 - 油箱 8 - 压油管 9 - 大液压缸 10 - 负载

1. 力的传递

图 1.1 所示大液压缸的活塞面积为 A_2 , 负载为 F_2 , 上升行程 S_2 , 上升速度 v_2 , 负载在大液压缸中产生的液体压力变化为 $p_2 = \frac{F_2}{A_2}$; 小液压缸的活塞面积为 A_1 , 手柄 1 对小活塞的作用力为 F_1 , 下压行程 S_1 , 下压速度 v_1 , F_1 在小液压缸中产生的液体压力变化为 $p_1 = \frac{F_1}{A_1}$ 。当小液压缸排油时与大液压缸连通且形成密闭容器, 根据帕斯卡原理, 两液压缸的压力变化应该相等, 即 $p_1 = p_2 = p$, 这里 p 就是千斤顶工作时的压力, 称为工作压力。

为克服负载使大液压缸的活塞运动, 作用在小液压缸活塞上的作用力 F_1 应为:

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \quad (1.1)$$

在 A_1 、 A_2 一定时, 负载 F_2 越大, 工作压力 p 也越高, 所需 F_1 也越大, 当 $F_2 = 0$ 时, $F_1 = 0$, 即工作压力 $p = 0$, 这说明工作压力与外负载密切相关。这是液压传动工作原理的第一个特征: 液压传动中的工作压力是由外负载决定的。

2. 运动的传递

假设液体不可压缩, 也没有泄漏, 缸体和管路也无变形, 可以看出小液压缸排出的液体体积必然等于进入大液压缸的液体体积, 即

$$S_1 A_1 = S_2 A_2 \quad (1.2)$$

上式两边同除以运动时间 t , $\frac{S_1 A_1}{t} = \frac{S_2 A_2}{t}$, $\frac{SA}{t}$ 的物理意义是: 单位时间内流过截面积为 A 的液体的体积, 称为流量, 用 q 表示。显然 $q = vA$, 因此有

$$q = q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (1.3)$$

式中, q_1 、 q_2 分别为小、大液压缸输出的平均流量。

可见, 液压传动是靠密闭工作容积变化相等的原则实现运动(速度和位移)传递的。调节进入大液压缸的流量 q_2 即可调节大活塞的运动速度 v_2 , 这是液压传动工作原理的第二个

特征: 液压传动中执行元件的运动速度由输入流量的大小决定, 与外负载大小无关。

3. 功率关系

传动系统在不计损失时输入功率应等于输出功率, 对千斤顶大、小液压缸来说, 功率 $P = F_1 v_1 = F_2 v_2$, 结合式(1.1)和式(1.3)可得

$$P = p_1 A_1 v_1 = p_2 A_2 v_2 = pq \quad (1.4)$$

上式表明, 液压传动中的功率 P 是压力 p 和流量 q 的乘积, 与力对应的液压参数是压力 p , 与速度对应的液压参数是流量 q 。所以, 压力 p 和流量 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数。

§ 1.2 液压传动系统的组成

液压传动系统事实上不会都象千斤顶那么简单, 它需要油泵提供连续的压力油, 还需要元件来控制液压缸的运动方向、最大推力和运动速度。下面以一个机床工作台液压系统为

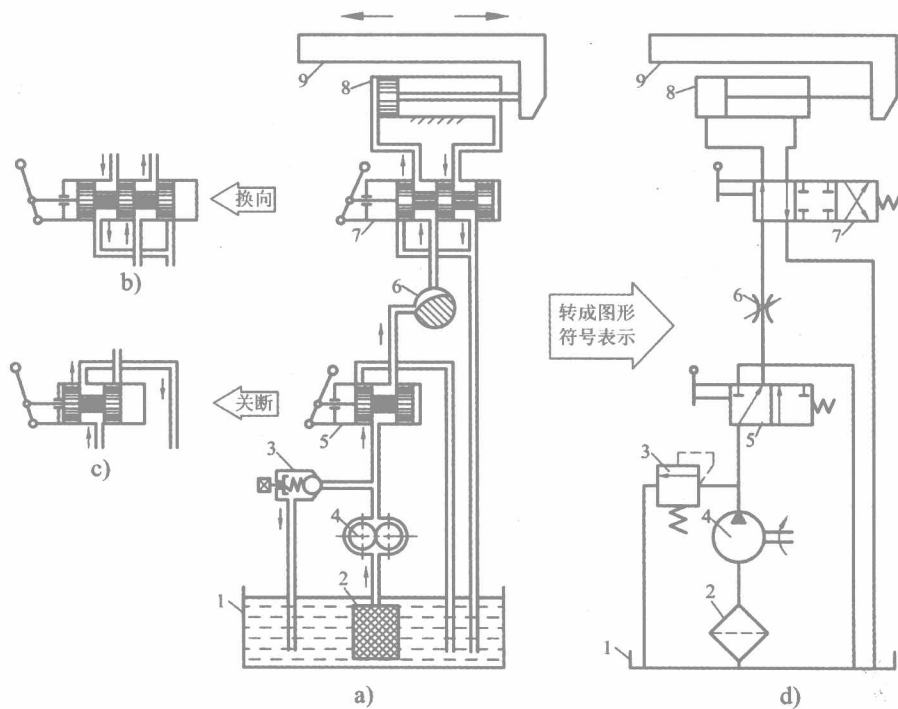


图 1.2 机床工作台液压系统的工作原理图

a)、b)和c) 机床工作台液压系统工作原理图的半结构式表示法

d) 机床工作台液压系统工作原理图的图形符号表示法

1 - 油箱 2 - 过滤器 3 - 溢流阀 4 - 液压泵 5 - 手动开关阀

6 - 节流阀 7 - 换向阀 8 - 液压缸 9 - 工作台

例来说明液压传动系统的组成。图 1.2a 所示为一驱动机床工作台的液压传动系统, 它由油箱 1、过滤器 2、溢流阀 3、液压泵 4、手动开关阀 5、节流阀 6、换向阀 7、液压缸 8 以及连接这些元件的油管、管接头等组成。

1.2.1 工作原理

1. 压力油的提供

液压泵4由电动机带动旋转后,其密闭的进油腔形成真空,油箱中的油液经过滤器2被吸入到液压泵进油腔,再经由液压泵出油口变成压力油输出,对整个系统供油。由于电机带动油泵连续旋转,油泵吸油是连续的,因此,输出的压力油也是连续的。

2. 工作台运动方向的控制

如图1.2a,油泵输出的压力油通过手动开关阀5、节流阀6,经换向阀7和连接这些元件的管道进入液压缸8左腔,推动液压缸8的活塞向右运动,从而推动了工作台9向右移动。与此同时,液压缸右腔油液经换向阀7和回油管排回油箱1。如图1.2b所示,改变换向阀7阀芯的工作位置,使之处于左端,液压缸8的活塞即向左运动,工作台9也向左移动。也就是说,换向阀7可控制液压缸活塞亦即工作台的运动方向。

3. 最大推力控制

液压缸必须产生一个足够大的推力来推动工作台负载及克服其所受的各种阻力,推力的大小是由负载和阻力决定的。由式(1.1)知,液压缸活塞面积不变时,推力即由液压缸中的油液压力决定。油液压力越高,所克服的负载和阻力就越大;反之则低。液压缸中是否能够允许形成足够大的油液压力来克服系统的负载和阻力,又取决于液压泵4出口所能达到的最大工作压力。从图1.2a中可看出,溢流阀3中的阀芯(图中为钢球)的作用力(与液压泵出口处油液压力成正比)等于或略大于其弹簧的预紧力时,压力油液就能顶开钢球流回油箱。在一定程度上,弹簧预紧力越大,液压泵出口的油液压力就越高,反之就低。所以,液压泵出口处的最大油液压力是由溢流阀3调定的,它和液压缸中的压力(由负载决定的)不一样大,其调定值是液压缸的最大工作压力及系统中油液流经阀和管道的压力损失的总和。由此可知,系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值,溢流阀决定了液压缸的最大推力,同时也在液压缸负载超过系统允许范围时对整个液压系统起着过载保护作用。因而溢流阀3在液压系统中的主要功用是控制系统的最大工作压力,从而控制液压缸的最大推力。系统中手动开关阀5若处于图1.2c所示的位置,则液压泵输出的压力油将经阀5直接回油箱,液压系统中的油液压力均为零,称为卸荷。此时,液压缸不能产生推力。

4. 速度控制

当节流阀6的开口调大时,进入液压缸的油液流量就大,工作台移动速度就加快;反之,工作台移动速度则减小。因此,节流阀6的主要功用是控制进入液压缸的流量,从而控制液压缸活塞亦即工作台的运动速度。当节流阀6调节输入液压缸的油液流量小于液压泵供给的油液流量时,多余的油液经溢流阀3和回油管直接回油箱,此时溢流阀必须打开,液压泵以溢流阀调定的恒定压力工作。

从液压千斤顶和机床工作台两个液压系统的例子中可以看出:

- ① 液压传动是以液体作为工作介质来传递动力的。
- ② 液压传动是利用液体的压力能传递动力,而不是利用液体的动能。

从机床工作台液压系统的例子我们还可以看到,液压传动的工作介质是在受控制和调节的状态下工作的,液压传动和控制是紧密相连的。

1.2.2 液压传动系统的组成

从机床工作台液压系统的例子可归纳出液压传动系统主要由以下四部分组成:

1. 能源装置

把机械能转换成油液液压能的装置。最常见的就是例子中的液压泵,它给液压系统提供压力油。能源装置也称动力装置、动力元件、动力部分或能源部分。

2. 执行装置

把油液的液压能转换成机械能的装置。它可以是例子中作直线运动的液压缸,也可以是作回转运动的液压马达。执行装置也称执行元件或执行部分。

3. 控制调节装置

对液压系统中油液的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置。例如上例中的溢流阀、节流阀、换向阀和手动开关阀等。这些元件的不同组合形成了不同功能的液压系统。控制调节装置也称控制元件或控制部分。

4. 辅助装置

上述三部分以外的其他装置。例如上例中的油箱、滤油器、油管等。它们对保证液压系统的正常工作起着重要作用,是必不可少的。辅助装置也称辅助元件或辅助部分

1.2.3 液压系统工作原理图的表示法

液压系统工作原理图可用半结构方式来表达,如图 1.2a 所示,它直观易懂,但绘制麻烦,系统中液压元件数量多时更是如此,因此,需要简化表示方法。图 1.2d 所示就是用液压图形符号来表示的工作原理图,与图 1.2a 表示的是同一个液压系统,但用液压图形符号来表示的工作原理图就显得简单明了,绘制也更方便快捷。

液压图形符号有详细的国家标准[见附录一 常用液压与气动元件图形符号(CB/T 786.1-1993)],在绘制液压原理图时必须遵循最新国家标准的规定。但是,实际应用中有些液压元件的职能确实无法用国家标准规定的图形符号来表示,这时在液压原理图中允许采用该元件的结构示意图来表达。

§ 1.3 液压传动的优缺点

在实际应用中正确合理地采用液压传动,需要了解其优势和不足。与机械传动和电力拖动系统相比,液压传动具有以下优缺点:

1. 优点

① 单位质量输出功率大。与电气执行元件相比,液压传动在同等输出功率下具有体积小、质量小、运动惯性小、动态性能好的特点。

② 易实现直线运动,传递运动平稳,易实现快速启动、制动和频繁换向。

③ 可以在运行过程中实现大范围的无级调速,调速范围可达 2000:1。

④ 操作省力、控制方便,易实现自动控制、中远程控制,很容易实现过载保护。与电气、电子和计算机控制相结合,易实现设计的模块化,能够完成较复杂的自动工作循环。

⑤ 液压元件属机械工业基础件,标准化、系列化和通用化程度较高,有利于缩短主机的设计和制造周期,降低主机的制造成本。

⑥ 液压元件的布置不受严格的空间位置限制,系统中各部分用管道连接,布局安装有很大的灵活性,能构成用其他方法难以组成的复杂系统。

2. 缺点