



面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

液压与气动技术

YEYA YU QIDONG JISHU

◎ 主 编 侯会喜



 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果

液压与气动技术

主 编 侯会喜

副主编 蔺国民 辛 梅 宋育红 王 兰

 **北京理工大学出版社**

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书共分为13章,第1~10章为液压传动部分,第11~13章为气压传动部分。本书主要论述了液压与气动的流体力学基础知识,液压与气动元件的工作原理、结构特点及选用方法,液压与气动基本回路和典型系统的组成与分析,液压与气动的综合应用与设计,液压与气动系统的使用、维护与故障排除等。本书在编写过程中,突出理论联系实际,加强针对性和实用性,注重引入新的技术内容,且在编写理念上力求章节层次清楚,内容简洁明了、通俗易懂。

本书可作为高等学校机电类、机械类专业的教材,也可供机械类工程技术人员参考使用。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/侯会喜主编. —北京:北京理工大学出版社, 2010. 7
ISBN 978-7-5640-3635-5

I. ①液… II. ①侯… III. ①液压传动-高等学校-教材②气压传动-高等学校-教材 IV. ①TH137②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第157996号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市文通印刷有限公司

开 本/710毫米×1000毫米 1/16

印 张/18.25

字 数/338千字

版 次/2010年7月第1版 2010年7月第1次印刷 责任编辑/王叶楠 臧 玮

印 数/1~1500册 责任校对/陈玉梅

定 价/36.00元 责任印制/边心超

图书出现印装质量问题,本社负责调换

面向“十二五”高等教育课程改革项目研究成果 机电系列编委会

主 任：翟瑞波

副主任：徐秀娟 王核心 李稳贤 侯会喜 袁世先

编 委(按姓氏笔画为序)：

卜养玲	孔 敏	王颖娴	王亚平	王 兰	王周让
王保华	王从钗	牛方方	邓小君	邓树君	代美泉
石 枫	白娟娟	冯秀萍	孙鹏涛	李 俊	李 宁
李 燕	李俊涛	李妍缘	李丽娟	吕栋腾	朱劲松
朱敬超	朱永迪	闫存富	刘书群	刘 峙	刘 畅
刘光定	刘龙江	安 宏	许云兰	宋 芳	宋志峰
宋述林	宋育红	张运真	张俊勇	张保丰	张志军
张 俊	张怀广	张明颖	张 峰	张文革	冶君妮
时 寸	辛小丽	辛 梅	罗亚军	宗一妮	房贯军
赵亚英	赵东辉	赵章吉	赵 斌	庞应周	杨 辉
杨 琳	杨 维	杨汉嵩	杨 爽	郭新民	侯晓芳
徐 铭	徐雅娟	徐家忠	高 凯	高 葛	唐志祥
符林芳	黄明惠	黄金磊	曾 霞	雷伟斌	蒋爱云
蔺国民	潘爱民	薛媛丽			

前 言

教材建设是专业建设的重要组成部分。为了适应高等教育不断发展的需要,满足其对机电类、机械类专业的人才培养目标和岗位技能需要,本书在广泛吸取和借鉴相关高等院校教学改革成果和编者多年教学经验的基础上,较全面地阐述了液压与气动技术的基本概念,依据理论内容以“必需、够用为度”的原则,力求突出应用能力和综合素质的培养,尽力使教材的内容符合我国液压与气压传动技术发展的需要。

本书对液压与气压传动基本理论与基本概念的阐述力求简明、清晰,强调其在工程项目中的应用。全书以液压技术为主线,对液压与气压控制阀的结构及基本回路进行了重点讲述,使其与实际应用相结合。针对高等教育教学的特点,本书强调对基本技能加强训练,增加了液压基本回路图例和液压系统应用实例,并详细介绍了液压与气动系统的安装、调试、维护与维修等相关知识。考虑到液压与气压传动之间存在较多的共性,为避免不必要的重复,教材中对气动技术的相关内容进行了适当压缩。本书由侯会喜任主编,第1、5、7、10章由宋育红负责编写,第2、3章由蔺国民负责编写,第6章由侯会喜负责编写,第4、8、9章由王兰负责编写,第11、12、13章由辛梅负责编写。全书由侯会喜统稿。本书在每章学习前,指出内容简介、学习目标及观察思考,同时选编了适应学生特点的思考题和习题,并将实习实训指导列入书中。为了配合章节学习,在必学内容的基础上增加了知识拓展内容和要点总结。

本书为高等院校机电类、机械类和近机类专业教材,并可供机械类工程技术人员参考使用。全书配有大量工业应用图例,有利于学生自学。

由于编者水平有限,书中难免有不少缺点和错误,恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

第1章 液压传动概述	1
1.1 液压传动的工作原理及组成	2
1.1.1 液压传动的工作原理	2
1.1.2 液压传动系统的组成	4
1.1.3 液压传动系统的符号	4
1.2 液压传动的优缺点及应用发展	5
1.2.1 液压传动的优缺点	5
1.2.2 液压传动技术发展概况	6
1.2.3 液压传动的主要应用及发展方向	6
本章小结	8
思考题	8
第2章 液压传动基础	9
2.1 液压油	9
2.1.1 液压油的主要性质	9
2.1.2 液压油的选用	12
2.1.3 液压油的污染与控制	15
2.2 液体静力学基础	16
2.2.1 液体的静压力及其特性	16
2.2.2 液体静力学基本方程	16
2.2.3 压力的表示方法	17
2.2.4 压力的传递	18
2.2.5 液体作用在固体壁面上的力	18
2.3 液体动力学基础	19
2.3.1 基本概念	19
2.3.2 连续性方程	20
2.3.3 伯努利方程	21
2.3.4 动量方程	22
本章小结	27
思考题	28



第3章 液压动力元件	30
3.1 液压动力元件概述	30
3.1.1 液压泵的作用和分类	30
3.1.2 液压泵的工作原理	31
3.1.3 液压泵的性能参数	32
3.2 齿轮泵	34
3.2.1 外啮合齿轮泵	34
3.2.2 内啮合齿轮泵	37
3.3 叶片泵	38
3.3.1 双作用叶片泵	38
3.3.2 单作用叶片泵	41
3.4 柱塞泵	43
3.4.1 径向柱塞泵	43
3.4.2 轴向柱塞泵	44
3.5 液压泵的选用	46
3.5.1 液压泵类型的选择	46
3.5.2 液压泵的工作压力	46
3.5.3 液压泵的流量	47
3.5.4 配套电动机的选用	47
本章小结	52
思考题	52
第4章 液压执行元件	54
4.1 液压缸	55
4.1.1 液压缸的类型及特点	55
4.1.2 液压缸的典型结构和组成	59
4.2 液压电动机	64
4.2.1 液压电动机的类型及特点	64
4.2.2 液压电动机的工作原理	68
本章小结	75
思考题	76
第5章 液压辅助装置	77
5.1 油管及管接头	77
5.1.1 油管	77



5.1.2 管接头	79
5.2 过滤器	80
5.2.1 选用过滤器的基本要求	80
5.2.2 过滤器的类型及特点	80
5.2.3 过滤器的选用和安装	82
5.3 密封装置	83
5.3.1 间隙密封	84
5.3.2 O形密封圈	84
5.3.3 Y形密封圈	85
5.3.4 V形密封圈	85
5.4 蓄能器	86
5.4.1 蓄能器的结构	86
5.4.2 蓄能器的功能	87
5.4.3 蓄能器的安装和使用	88
5.5 油箱	88
5.5.1 功用和结构	88
5.5.2 设计时的注意事项	89
5.5.3 热交换器	90
本章小结	92
思考题	93
第6章 液压控制阀	94
6.1 概述	95
6.1.1 液压控制阀的分类	95
6.1.2 液压控制阀的性能参数	95
6.1.3 对液压控制阀的基本要求	96
6.1.4 液压阀的基本结构与原理	96
6.2 方向控制阀	96
6.2.1 单向阀	96
6.2.2 换向阀	98
6.3 压力控制阀	104
6.3.1 溢流阀	104
6.3.2 减压阀	108
6.3.3 顺序阀	109
6.3.4 压力继电器	112
6.4 流量控制阀	113



6.4.1 流量控制阀	113
本章小结	123
思考题	124
第7章 液压系统基本回路	128
7.1 压力控制回路	128
7.1.1 调压回路	128
7.1.2 减压回路	129
7.1.3 卸荷回路	130
7.1.4 平衡回路	131
7.1.5 保压回路	131
7.2 方向控制回路	132
7.2.1 换向回路	132
7.2.2 锁紧回路	132
7.3 速度控制回路	133
7.3.1 调速回路	133
7.3.2 快速运动回路	141
7.3.3 速度换接回路	142
7.4 其他基本控制回路	143
7.4.1 顺序动作回路	143
7.4.2 同步动作回路	144
本章小结	149
思考题	149
第8章 典型液压传动系统	152
8.1 组合机床动力滑台液压系统	153
8.1.1 概述	153
8.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	154
8.1.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	155
8.2 汽车起重机液压系统	155
8.2.1 概述	155
8.2.2 液压系统工作原理	157
8.2.3 液压系统主要特点	160
8.3 液压压力机液压系统	160
8.3.1 概述	160
8.3.2 YB32-200 型液压压力机液压系统工作原理	161



8.3.3 YB32-200 型液压压力机液压系统特点	164
8.4 数控机床液压系统	164
8.4.1 卡盘的夹紧与松开	166
8.4.2 回转刀盘动作	166
8.4.3 尾架套筒伸缩动作	166
本章小结	168
思考题	169
第9章 液压系统的设计计算	171
9.1 液压系统的设计	171
9.1.1 明确设计要求, 进行工况分析	171
9.1.2 执行元件主要参数的确定	173
9.1.3 拟定液压系统原理图	175
9.1.4 液压元件的计算和选择	176
9.1.5 液压系统性能验算	177
9.1.6 绘制工作图, 编写技术文件	178
本章小结	190
思考题	190
第10章 液压系统的使用与维护	192
10.1 液压系统的安装与清洗	192
10.1.1 液压系统的安装	192
10.1.2 液压系统的清洗	193
10.2 液压系统的调试	194
10.2.1 空载试车	194
10.2.2 负载试车	195
10.3 液压系统保养	195
10.3.1 液压系统使用注意事项	195
10.3.2 液压设备的维护保养	195
10.4 液压系统的故障分析和排除方法	195
10.4.1 液压系统故障的诊断方法	195
10.4.2 液压系统故障分析	197
本章小结	203
思考题	203



第11章 气压传动元件	204
11.1 气压传动概述	204
11.1.1 气压传动系统的工作原理	204
11.1.2 气压传动的组成	205
11.1.3 气压传动的特点	205
11.2 气动元件	207
11.2.1 气源装置	207
11.2.2 执行元件	211
11.2.3 控制元件	216
本章小结	235
思考题	235
第12章 气动基本回路与常用回路	236
12.1 方向控制回路	237
12.1.1 单作用气缸换向回路	237
12.1.2 双作用气缸换向回路	238
12.2 压力和力控制回路	238
12.2.1 压力控制回路	238
12.2.2 力控制回路	240
12.3 速度控制回路	241
12.3.1 气阀调速回路	241
12.3.2 气液联动速度控制回路	242
12.4 位置控制回路	244
12.4.1 缓冲挡铁位置控制	244
12.4.2 多位缸的位置控制回路	244
12.4.3 气液转换器的位置控制回路	244
12.5 其他气动常用回路	244
12.5.1 安全保护回路	244
12.5.2 同步动作回路	245
12.5.3 往复动作回路	246
12.6 气压系统应用与分析	247
12.6.1 工件夹紧气压传动系统	247
12.6.2 气动拉门自动、手动开闭系统	248
12.6.3 数控加工中心气动换刀系统	249
本章小结	252



思考题	253
第 13 章 气动系统安装调试、使用及维护	254
13.1 气动系统的安装与调试	254
13.1.1 气动系统的安装	254
13.1.2 气动系统的调试	256
13.2 气动系统的使用与维护	256
13.2.1 气动系统使用注意事项	257
13.2.2 气动系统的日常性维护工作	257
13.2.3 气动系统的定期维护工作	257
13.2.4 气动系统主要元件的常见故障及其排除方法	258
本章小结	262
思考题	262
附录 常用液压图形符号 (GB/T 786.1—1993 摘录)	263
1. 液压泵、液压电动机和液压缸	263
2. 机械控制装置和控制方法	265
3. 压力控制阀	267
4. 方向控制阀	269
5. 流量控制阀	270
6. 油箱	271
7. 流体调节器	272
8. 检测器、指示器	272
9. 其他辅助元器件	273
10. 管路、管路接口和接头	274
参考文献	275

第1章 液压传动概述

■ 参考学时 2 学时

■ 本章内容简介

液体传动是以液体为工作介质,利用液体的压力能来进行能量传递的传动方式,它包括液压传动和液力传动。液压传动主要是利用密封容积中受压液体作为工作介质来传递运动和动力的一种传动方式;而液力传动则主要是利用非封闭状态下液体的动能或位能来进行工作的传动方式(如离心泵、液力变矩器等),两者在原理上有很大区别,本书主要讨论前者。

■ 学习目标

掌握液压传动的工作原理;

掌握液压系统的组成;

了解液压传动的发展方向;

了解液压传动的特点;

能区分简单液压系统各组成部分。

■ 观察思考

如图1-1所示,液压千斤顶是一种起重高度低(低于1 m)的最简单的起重设备。试思考,千斤顶的工作原理是什么?学习完本章后验证观点。

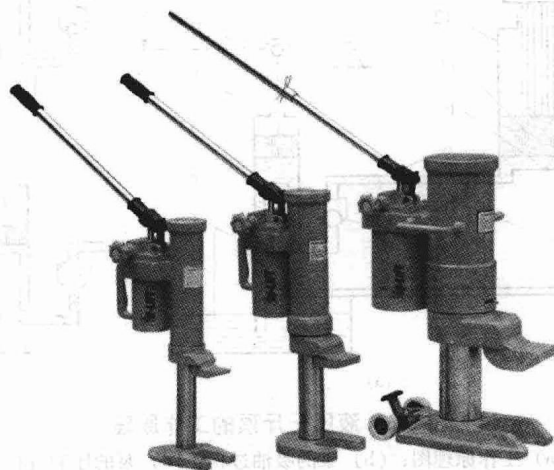


图1-1 液压千斤顶

1.1 液压传动的工作原理及组成

1.1.1 液压传动的工作原理

1. 液压千斤顶的工作原理

首先,从液压千斤顶着手来讨论液压传动的工作原理。液压千斤顶是一种起重高度低(低于1 m)的最简单的起重设备。它主要用于厂矿和交通运输等部门,做车辆修理及其他起重和支撑等工作。下面以液压千斤顶为例简述液压传动的工作原理。

如图1-2(a)所示,液压千斤顶主要由手动柱塞液压泵(杠杆1、泵体2、活塞3)和液压缸(活塞11、缸体12)两大部分构成。工作时,关闭卸油阀8,向上提起杠杆,活塞3被带动上升,如图1-2(b)所示,泵体油腔4的工作容积增大,由于单向阀7受油腔10中油液的作用力而关闭,油腔4形成真空,油箱6中的油液在大气压力的作用下,推开单向阀5的钢球,进入并充满油腔4。压下杠杆,活塞3被带动下移,如图1-2(c)所示,泵体油腔4的工作容积减小,其内的油液在外力的挤压作用下压力增大,迫使单向阀5关闭,而单向阀7的钢球被推开,油液经油管9进入缸体油腔10,缸体油腔的工作容积增大,推动活塞11连同重物 G 一起上升。反复提压杠杆,就能不断从油箱吸入油液并压入缸体油腔10,使活塞11和重物不断上升,从而达到起重目的。提压杠杆的速度越快,单位时间内压入缸体油腔10的油液越多,重物上升的速度越快。重物越重,下压杠杆的

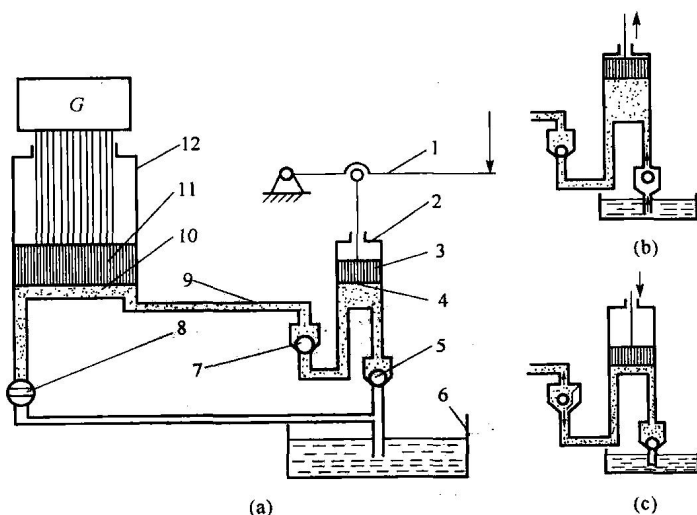


图1-2 液压千斤顶的工作原理

(a) 工作原理图; (b) 泵的吸油过程; (c) 泵的压油过程

1—杠杆; 2—泵体; 3, 11—活塞; 4, 10—油腔; 5, 7—单向阀;
6—油箱; 8—卸油阀; 9—油管; 12—缸体

力就越大。停止提压杠杆，单向阀7被关闭，缸体油腔中的油液被封闭。此时，重物保持在某一位置不动。若将卸油阀旋转90°，缸体油腔直接连通油箱，油腔10中的油液在重物的作用下流回油箱，活塞11将下降直至恢复到原位。

从以上液压千斤顶的工作过程可以看出，液压传动有以下特点：

(1) 液压传动以液体（一般为矿物油）作为传递运动和动力的工作介质，而且传递中必须经过两次能量转换。先把机械能转换为便于传输的液体的压力能，然后把液体的压力能转换为机械能做功。

(2) 液压传动是依靠密闭的容器（或密闭系统）内密封容积的变化来传递运动，通过油液内部的压力来传递动力。如果容器不密封，就不能形成必要的压力；如果密封容积不变化，就不能实现吸油和压油，也就不能利用受压液体传递运动和动力。

2. 机床工作台液压传动系统

如图1-3(a)所示为一简化了的机床工作台液压传动系统结构原理图。液

压泵4在电动机（图中未画出）的带动下旋转，油液由油箱1经过滤器2被吸入液压泵，在液压泵输入的压力作用下，通过手动换向阀9、节流阀13、换向阀15进入液压缸18的左腔，推动活塞17和工作台19向右移动，同时液压缸18右腔的油液经换向阀15排回油箱。如果将换向阀15转换成如图1-3(b)所示的状态，则压力油进入液压缸18的右腔，推动活塞17和工作台19向左移动，液压缸18左腔的油液经换向阀15排回油箱。工作台19的移动速度由节流阀13来调节。当节流阀开大时，进入液压缸18的油液增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，工作台的移动速度减小。液压泵4输出的压力油除了进入节流阀13以外，其余的打开溢流阀7流回油箱。如果将手动换向阀9转换成如图1-3(c)所示的状态，液压泵输出的油液经手动换向阀9流回油箱，这时工作台停止运动，液压

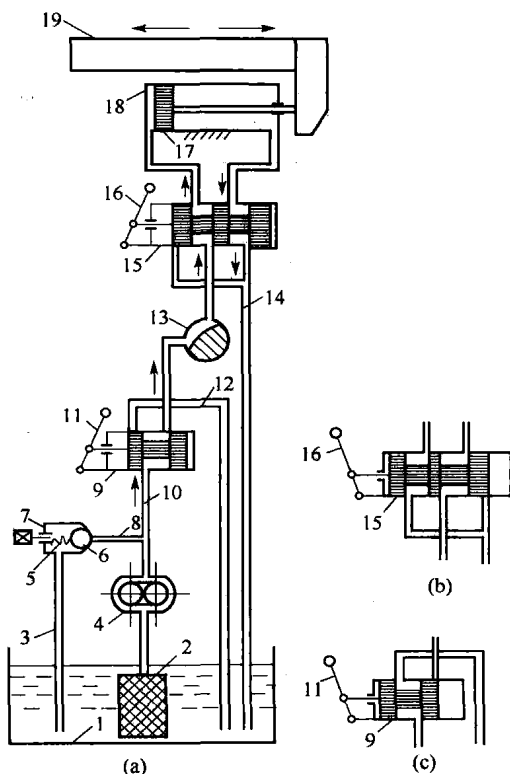


图1-3 机床工作台液压传动系统

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

系统处于卸荷状态。

1.1.2 液压传动系统的组成

从以上两个例子可以看出, 液压系统主要由五部分组成。

1. 动力元件

动力元件是将电动机输入的机械能转换为液体压力能的能量转换装置。其作用是为液压系统提供压力能。在液压系统中动力元件是各种液压泵。

2. 执行元件

执行元件是将液压泵输入的液体压力能转化为机械能的能量转换装置。其作用是在压力油的推动下输出力和速度(直线运动), 或力矩和转速(回转运动)。这类元件包括液压缸和液压电动机。

3. 控制调节元件

控制调节元件是用来控制或调节液压系统中油液的压力、流量和流动方向, 保证执行元件完成预期工作的元件。这类元件包括各种压力控制阀、流量控制阀和方向控制阀等。这些元件的不同组合便形成了不同功能的液压传动系统。

4. 辅助元件

辅助元件是指各种管接件、油管、油箱、过滤器、蓄能器和压力表等。它们主要起连接、输油、贮油、过滤、贮存压力能和测量等作用, 以保证系统正常工作, 是液压系统不可缺少的组成部分。

5. 工作介质

工作介质在液压传动及控制中起传递运动、动力及信号的作用。工作介质为液压油或其他合成液体。

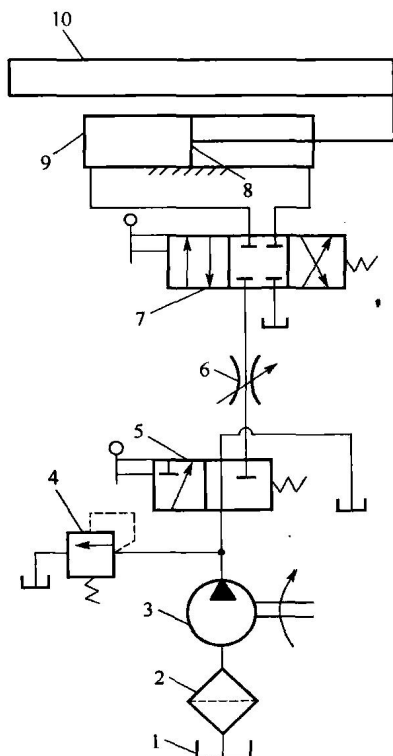


图 1-4 机床工作台液压系统的图形符号图

1—油箱; 2—过滤器; 3—液压泵; 4—溢流阀; 5—手动换向阀; 6—节流阀; 7—换向阀; 8—活塞; 9—液压缸; 10—工作台

1.1.3 液压传动系统的符号

如图 1-2 和图 1-3 所示的液压千斤顶和机床工作台液压系统结构原理图, 具有直观性强、容易理解的特点。但其绘制较复杂, 特别是当系统中元件较多时, 绘制更为困难。为了方便阅读、分析、设计和绘制液压系统, 工程实际中, 国内外都采用图形符号来表示液压元件。这些符号只表示元件的功能、操

作(控制)方法及外部接口,不表示元件的具体结构及参数、接口的实际位置和元件的安装位置,并以元件的静止状态或零位状态来表示。若液压元件无法用图形符号表述时,仍允许用半结构原理表示。GB/T 786.1—1993《液压气动图形符号》对液压气动元件的图形符号作了具体规定,常用液压元件及液压系统其他有关装置或器件的图形符号见相关手册。图1-4所示为使用图形符号表示的机床工作台液压系统工作原理图。

1.2 液压传动的优缺点及应用发展

1.2.1 液压传动的优缺点

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动等相比较,具有以下特点。

1. 液压传动的优点

(1) 在同等功率的情况下,液压传动装置的体积小、质量轻、结构紧凑,如液压电动机的质量只有同等功率电动机质量的10%~20%。当液压传动采用同等高压时,则更容易获得较大的力或力矩。

(2) 液压系统执行机构的运动比较平稳,能在低速下稳定运动。当负载变化时,其运动也较稳定。同时因其惯性小、反应快,所以易于实现快速启动、制动和频繁地换向。在往复回转运动时换向可达每分钟500次,往复直线运动时换向可达每分钟1000次。

(3) 液压传动可在大范围实现无级调速,调速比一般可达100以上,最大可达2000以上,并且可在液压装置运行的过程中进行调速。

(4) 液压传动容易实现自动化,因为它是对液体的压力、流量和流动方向进行控制或调节,操纵很方便。当采用电液联合控制,甚至计算机控制后,可实现大负载、高精度、远程自动控制。

(5) 液压装置易于实现过载保护且液压件能自行润滑,因此使用寿命较长。

(6) 液压元件实现了标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和使用。

2. 液压传动的缺点

(1) 液压传动不能保证严格的传动比。这是由液压油的可压缩性和泄漏等因素所造成的。

(2) 液压传动在工作过程中常有较多的能量损失(如摩擦损失和泄漏损失等)。

(3) 液压传动对油温的变化比较敏感,工作稳定性容易受到温度变化的影响,因此不宜在温度变化很大的环境中工作。

(4) 为了减少泄漏,液压元件在制造精度上的要求比较高,因此其造价较高,且对油液的污染比较敏感。

(5) 液压传动出现故障的原因较复杂,因此故障查找困难。

总的说来,液压传动的优点较为突出,且一些缺点现已大为改善。相信随着