

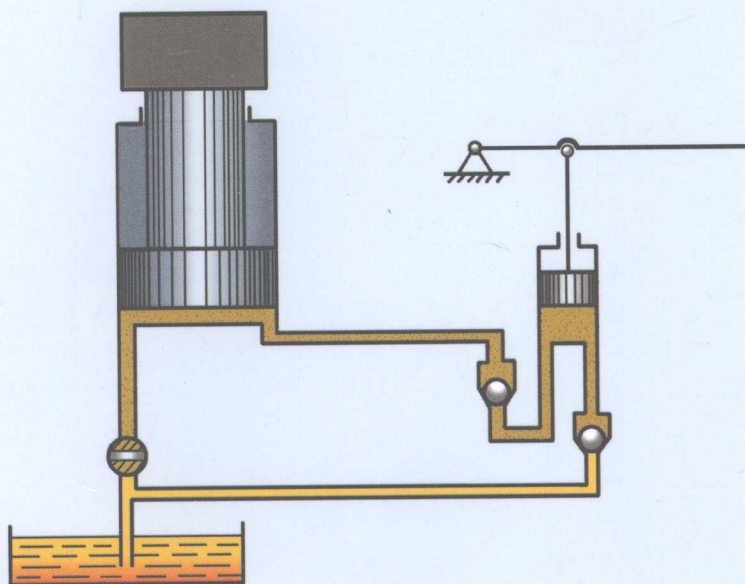
高等学校规划教材

GAODENG XUEXIAO GUIHUA JIAOCAI

液压传动与气压传动

朱新才 周雄 周小鹏 等编

赵静一 主审



冶金工业出版社

<http://www.cnmp.com.cn>

TH137/165

2009

高等学校规划教材

液压传动与气压传动

朱新才 周 雄 周小鹏 等编
赵静一 主审

北 京
冶金工业出版社
2009

内 容 提 要

本书以工程应用为重点,由浅入深地介绍了液压流体力学基础,各种液压元件的结构、工作原理、特点及应用,液压基本回路,并对典型液压系统进行分析;介绍了液压系统的故障诊断与排除方法,液压系统的设计、安装、调试和维护,液压伺服系统及应用;介绍了气压元件、气动基本回路、气动控制系统设计、气动系统应用与分析等内容。

本书可作为高等学校机械类和近机类专业的教学用书,也可作为工程技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

液压传动与气压传动/朱新才等编. —北京:冶金工业出版社,2009.5

高等学校规划教材

ISBN 978-7-5024-4462-4

I. 液… II. 朱… III. ①液压传动—高等学校—教材
②气压传动—高等学校—教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 072804 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号,邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 陈慰萍 宋 良 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 王永欣 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4462-4

北京百善印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2009 年 5 月第 1 版,2009 年 5 月第 1 次印刷

787 mm × 1092 mm 1/16; 19 印张; 503 千字; 288 页; 1-3000 册

39.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

随着科学技术的迅速发展,工业生产进入以信息技术、数控技术、液压传动与气压传动控制技术为主体的发展阶段。液压传动与气压传动控制技术介于机械和电子技术之间,同时又包含部分机械和电子的有关内容,因此具有独特的优越性,得到了越来越广泛的应用。

本书是在征求有关院校意见的基础上,结合编者多年的教学经验与实践体会,参考有关文献编写而成的。本书在编写中注重学生对基本内容的掌握和应用,强调学以致用,突出实践能力的培养,特别注重教学内容的针对性、实用性和先进性,将最新技术成果融入教材体系中,把重点放在提高学生正确、合理地选用各种液压和气动元件,分析、设计液压系统,维护液压元件及系统、分析和排除常见故障的能力上。

参加本书编写工作的有重庆科技学院朱新才教授(第1章、第5章)、周小鹏副教授(第8章、第10章)、周雄副教授(第3章、第13章)、林顺洪副教授(第2章)、李良(第4章、第11章);河北理工大学任吉堂教授(第6章);西华大学刘建新教授(第7章);辽宁科技学院于维纳副教授(第9章、第12章)。本书由燕山大学赵静一教授担任主审。

学习效率不能用时间来计算,而要用在相同的时间内学到知识的多少来衡量。为提高教与学的效率,编者开发了多媒体课件及网络课程资源,读者可在重庆科技学院网站上下载使用。

本书编写过程中,还得到了有关企业工程技术人员和高校教师的大力支持和帮助,编者在此一并致谢。

由于编者水平有限,不妥之处恳请广大读者批评指正。

编 者
2009年3月于重庆

目 录

1 绪论	1
1.1 液压传动的概念、工作原理及基本特性	1
1.1.1 力比例关系	2
1.1.2 运动关系	2
1.1.3 功率关系	2
1.2 液压传动系统的组成及工程表示	3
1.3 液压传动的优缺点	4
思考题与习题	5
2 液压流体力学基础	6
2.1 液压油	6
2.1.1 液压油的主要性质	6
2.1.2 液压油的选用	9
2.2 液体静力学	12
2.2.1 液体静压力及其特性	12
2.2.2 液体静力学方程	13
2.2.3 压力的表示方法及单位	13
2.2.4 帕斯卡原理	14
2.2.5 液压静压力对固体壁面的作用力	14
2.3 液体动力学	15
2.3.1 基本概念	15
2.3.2 连续性方程	17
2.3.3 伯努利方程	17
2.3.4 动量方程	20
2.4 流体流动中的压力损失	22
2.4.1 流体的流动状态	22
2.4.2 沿程压力损失	24
2.4.3 局部压力损失	24
2.4.4 管路系统中的总压力损失	25
2.4.5 流速选择	25
2.5 液体在小孔和缝隙中的流动	26
2.5.1 小孔流动	26
2.5.2 缝隙流动	27

2.6 液压冲击及空穴现象	28
2.6.1 液压冲击现象	28
2.6.2 空穴现象	28
思考题与习题	29
3 液压泵	31
3.1 液压泵的概述	31
3.1.1 液压泵的工作原理及特点	31
3.1.2 液压泵的主要性能参数	32
3.2 齿轮泵	33
3.2.1 齿轮泵的工作原理和结构	33
3.2.2 齿轮泵存在的问题	34
3.2.3 齿轮泵的流量计算	35
3.2.4 高压齿轮泵端面间隙补偿装置	36
3.3 叶片泵	37
3.3.1 双作用叶片泵	37
3.3.2 单作用叶片泵	41
3.4 柱塞泵	44
3.4.1 径向柱塞泵	45
3.4.2 轴向柱塞泵	45
3.5 液压泵的噪声	48
3.5.1 产生噪声的原因	48
3.5.2 降低噪声的措施	49
3.6 液压泵的选用	49
思考题与习题	49
4 液压执行元件	51
4.1 液压马达	51
4.1.1 液压马达的工作原理	51
4.1.2 液压马达的基本性能参数	52
4.1.3 高速液压马达	55
4.1.4 液压马达的工作特点	56
4.1.5 液压马达的选用	57
4.2 液压缸	57
4.2.1 液压缸的类型	57
4.2.2 液压缸的结构	62
4.3 液压缸的设计计算	67
4.3.1 液压缸结构设计内容和步骤	67
4.3.2 液压缸主要结构尺寸的确定	67

4.3.3 强度和稳定性的校核计算	68
思考题与习题	69
5 液压控制阀	71
5.1 方向控制阀	71
5.1.1 单向阀及液控单向阀	71
5.1.2 换向阀	74
5.2 压力控制阀	83
5.2.1 压力控制阀的分类	84
5.2.2 压力阀的比较	96
5.2.3 压力阀的选择和调节	97
5.3 流量控制阀	97
5.3.1 节流口	98
5.3.2 节流阀的结构和工作原理	99
5.3.3 调速阀	101
5.3.4 流量阀的选择及应用	103
5.4 电液比例控制阀	103
5.4.1 比例电磁铁	103
5.4.2 比例阀	104
5.4.3 比例阀的应用	108
5.5 二通插装阀	109
5.5.1 插装阀的结构和工作原理	109
5.5.2 插装阀的种类	110
5.5.3 二通插装阀的应用	116
5.5.4 插装阀的特点	117
5.6 叠加式液压阀	117
5.6.1 叠加式溢流阀	117
5.6.2 叠加式流量阀	118
5.6.3 叠加阀的特点	119
5.7 阀的集成	119
5.7.1 集成块式	120
5.7.2 叠加阀式	120
5.7.3 锥阀式	121
思考题与习题	122
6 液压辅助元件	125
6.1 油箱	125
6.1.1 油箱的功用及结构	125
6.1.2 油箱设计	125

6.1.3	设计时的注意事项	126
6.2	过滤器	127
6.2.1	过滤器的功用及结构	127
6.2.2	过滤器的选用及安装	129
6.3	蓄能器	129
6.3.1	蓄能器的功用	129
6.3.2	蓄能器的类型及结构	130
6.3.3	蓄能器的安装	130
6.4	管路及管接头	131
6.4.1	油管	131
6.4.2	管接头	131
6.5	密封装置	132
6.5.1	间隙密封	132
6.5.2	密封圈密封	133
6.5.3	新型密封件	134
6.5.4	组合式密封件	135
6.6	压力表及压力表开关	137
6.6.1	压力表	137
6.6.2	压力表开关	137
	思考题与习题	138
7	液压基本回路	139
7.1	压力控制回路	139
7.1.1	调压回路	139
7.1.2	减压回路	140
7.1.3	卸荷回路	140
7.1.4	保压回路	140
7.1.5	平衡回路	141
7.1.6	增压回路	142
7.2	速度控制回路	142
7.2.1	调速回路	142
7.2.2	快速运动回路	148
7.2.3	速度换接回路	150
7.3	方向控制回路	151
7.3.1	换向回路	151
7.3.2	锁紧回路	152
7.4	多缸动作回路	152
7.4.1	顺序动作回路	152
7.4.2	同步回路	152

7.4.3 多缸快、慢速互不干涉回路	154
思考题与习题	155
8 典型液压系统分析	159
8.1 YT4543 型组合机床动力滑台液压系统	159
8.1.1 概述	159
8.1.2 YT4543 型组合机床动力滑台液压系统工作原理	160
8.1.3 动力滑台液压系统的特点	161
8.2 SZ-250A 型注射机液压系统	161
8.2.1 概述	161
8.2.2 注塑机液压控制系统的要求	161
8.2.3 SZ-250A 型注射机液压系统工作原理	162
8.2.4 系统特点	164
8.3 MHG 型液压泥炮的液压系统	164
8.3.1 概述	164
8.3.2 MHG 型液压泥炮液压系统工作原理	165
8.3.3 MHG 型高炉泥炮液压系统的主要特点	165
8.4 YB32-300 型四柱万能液压机液压系统	166
8.4.1 动力系统图	166
8.4.2 主液压缸传动系统	167
8.4.3 下液压缸传动系统	167
8.4.4 液压系统的主要特点	168
8.5 QY20B 型液压汽车起重机的液压系统	168
8.5.1 支腿收放液压回路	168
8.5.2 回转机构液压回路	169
8.5.3 臂架变幅液压回路	169
8.5.4 伸缩臂液压回路	170
8.5.5 吊重起升液压回路	170
8.5.6 吊重起升液压回路与其制动、离合器的配合	170
思考题与习题	170
9 液压系统的设计计算	173
9.1 明确设计依据,进行工况分析	173
9.1.1 明确设计依据	173
9.1.2 工况分析	173
9.2 拟定液压系统原理图	176
9.3 液压系统主要性能参数的确定	177
9.3.1 执行元件工作压力 p 的确定	177
9.3.2 执行元件主要结构参数的确定	177

9.3.3 绘制执行元件工况图	178
9.4 计算和选择液压元件	179
9.4.1 执行元件的计算	179
9.4.2 液压泵和电动机的选择	179
9.4.3 液压控制阀的选择	181
9.4.4 液压辅助元件的选择	181
9.5 液压系统的性能验算	181
9.5.1 系统压力损失验算	181
9.5.2 液压系统的发热及温升验算	183
9.6 绘制液压系统工作图,编写技术文件	184
9.7 液压系统设计计算举例	185
9.7.1 设计依据	185
9.7.2 工况分析	185
9.7.3 初步拟定液压系统原理图	187
9.7.4 初步确定液压系统参数	188
9.7.5 液压元件的计算和选择	191
9.7.6 液压系统性能验算	193
9.7.7 绘制液压系统工作图,编写技术文件	198
思考题与习题	198
10 液压伺服系统	200
10.1 概述	200
10.1.1 液压伺服系统的工作原理	200
10.1.2 液压伺服系统的组成	201
10.1.3 液压伺服系统的分类	202
10.2 液压控制阀	202
10.2.1 滑阀	203
10.2.2 喷嘴挡板阀	203
10.2.3 射流管阀	204
10.3 电液伺服阀	204
10.3.1 电液伺服阀的组成	205
10.3.2 电液伺服阀的典型结构及工作原理	205
10.3.3 电液伺服阀的特性	206
10.3.4 电液伺服阀的选择和使用	208
10.4 液压伺服系统实例	209
10.4.1 电液位置伺服系统	209
10.4.2 机液伺服位置控制系统	211
思考题与习题	211

11 液压系统故障诊断及排除	213
11.1 液压系统故障特征及现象	213
11.1.1 常见故障特征及现象	213
11.1.2 液压系统四个工作阶段常见故障	214
11.2 液压系统故障诊断步骤和方法	214
11.2.1 液压系统故障诊断的步骤	214
11.2.2 液压系统故障诊断技术	215
11.2.3 诊断故障原因的方法	216
11.3 液压元件及系统常见故障的诊断及排除	216
11.3.1 典型液压元件故障诊断及排除方法	216
11.3.2 液压系统的故障诊断及排除方法	223
11.3.3 典型液压系统故障及排除方法	225
12 液压系统的安装、调试与维护	227
12.1 液压传动系统的安装	227
12.1.1 液压管路的安装	227
12.1.2 液压元件的安装	228
12.2 液压系统的清洗与试压	229
12.2.1 第一次清洗	229
12.2.2 第二次清洗	229
12.2.3 液压系统的试压	230
12.3 液压系统的调试	230
12.3.1 空载试车	230
12.3.2 负载试车	230
12.3.3 系统的调整	230
12.4 液压系统的使用、维护和保养	231
12.4.1 对液压系统的日常检查	231
12.4.2 液压油的使用和维护	231
12.4.3 液压系统的维修	231
12.5 电液伺服阀的安装和使用	232
12.5.1 电液伺服阀的安装	232
12.5.2 电液伺服阀的维护使用	232
13 气压传动	233
13.1 气压传动概述	233
13.1.1 气动技术应用现状	233
13.1.2 气动技术的特点	233
13.1.3 气压传动系统的组成	234
13.2 气压传动基础知识	235

13.2.1 空气的物理性质	235
13.2.2 气体状态方程	236
13.2.3 充、放气参数的计算	239
13.3 气源装置及辅助元件	241
13.3.1 气源装置	241
13.3.2 辅助元件	246
13.3.3 管路系统	250
13.4 气动执行元件	251
13.4.1 气缸	251
13.4.2 气动马达	256
13.5 气动控制元件	257
13.5.1 方向控制阀	257
13.5.2 压力控制阀	264
13.5.3 流量控制阀	265
13.6 气动基本回路	266
13.6.1 换向控制回路	266
13.6.2 压力(力)控制回路	268
13.6.3 速度控制回路	270
13.6.4 位置控制回路	271
13.7 气动控制系统设计	272
13.7.1 全气动程序控制系统的设计	272
13.7.2 电气程序控制系统的设计	274
13.7.3 PLC 程序控制系统的设计	277
13.8 气动系统应用与分析	279
13.8.1 液体自动定量灌装气动系统	280
13.8.2 自动打印机气动系统	280
思考题与习题	281
附表	282
新旧国标常用液压传动图形符号对照表	282
参考文献	288

1 绪 论

1.1 液压传动的概念、工作原理及基本特性

液压传动是指用液体作为工作介质,借助液体的压力能进行能量传递和控制的一种传动形式。利用各种元件可组成不同功能的基本控制回路,若干基本控制回路再经过有机组合,就可以构成具有一定控制机能的液压传动系统。

液压传动的工作原理可用图 1-1 所示的液压千斤顶的工作原理来说明。

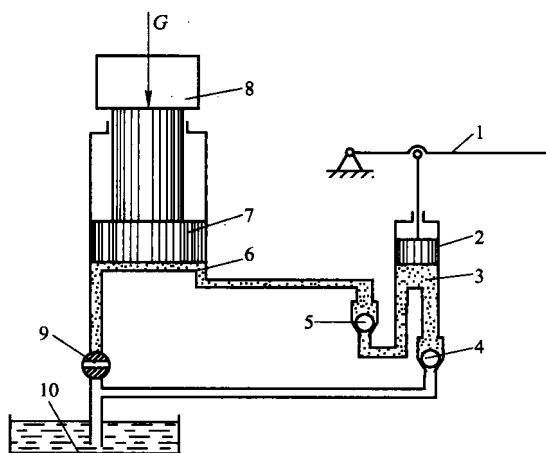


图 1-1 液压千斤顶工作原理

1—杠杆; 2,7—活塞; 3—小液压缸; 4,5—单向阀;
6—大液压缸; 8—重物; 9—截止阀; 10—油箱

图 1-1 中的大液压缸 6 和活塞 7 为执行元件,小液压缸 3 和活塞 2 为动力元件,活塞与缸体保持非常好的配合。活塞能在缸内自如滑动,配合面之间又能实现可靠的密封。单向阀 4、5 保证油液在管路中单向流动,截止阀 9 控制所在管路的通断状态。

千斤顶工作原理如下:截止阀 9 关闭,上提杠杆 1 时,活塞 2 就被带动向上移动。活塞下端密封腔容积增大,造成腔内压力下降,形成局部负压(真空)。此时单向阀 5 将所在管路阻断,油箱 10 中的油液在大气压力作用下推开单向阀 4 沿吸油管进入小缸下腔,吸油过程完成。接着下压杠杆 1,活塞 2 向下移动,下端密封腔容积减小,造成腔内压力升高。此时单向阀 4 将吸油管路阻断,单向阀 5 则被正向推开,小缸下腔的压力油经连通管路挤入大液压缸 6 的下腔,迫使活塞 7 向上移动,从而推动重物 8 上行。如此反复提压杠杆 1,就能不断将油液压入大液压缸 6 的下腔,迫使活塞 7 不断向上移动,使重物逐渐升起,达到起重的目的。

如果打开截止阀 9,大液压缸 6 下腔将通过回油管与油箱 10 连通,活塞 7 在重物 8 和自重作用下迅速向下移动,液压油直接流回油箱。

分析液压千斤顶的工作原理可得出两活塞之间的力比例关系、运动关系和功率关系。

1.1.1 力比例关系

活塞 7 下腔的油液所产生的压力 $p = G/A_2$ 。在活塞 7 上行过程中,单向阀 5 开启,液压缸 3、6 的下腔相通。若不计任何压力损失,活塞 2、7 下腔的压力必然相等。因此活塞 2 上必须施加力 F_1 。由于 $F_1 = pA_1$, 因而有

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

或

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

式中 A_1, A_2 ——活塞 2 和活塞 7 的作用面积, m^2 ;

F_1 ——杠杆手柄作用在活塞 2 上的力, N ;

G ——重物的重力, N 。

式(1-1)是液压传动中力传递的基本公式。由于 $p = G/A_2$, 因此,当负载 G 增大时,液体工作压力 p 也随之增大,亦即 F_1 要随之增大。由此可知一个很重要的基本概念,即液压传动的工作压力(液体的压力)取决于负载,而与流入的液体多少无关。

1.1.2 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性、漏损、缸体和油管的变形,则从图 1-1 可以看出,被活塞 2 压出的油液的体积,必然等于活塞 7 向上升起后大液压缸 6 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 ——活塞 2 和活塞 7 的位移量, m 。

从式(1-2)可知,两活塞的位移量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:

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

或

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

式中 v_1, v_2 ——活塞 2 和活塞 7 的运动速度, m/s 。

$A \frac{h}{t}$ 的物理意义是单位时间内液体流过截面积为 A 的体积,称为流量 q , 即 $q = Av$ 。因此活塞的运动速度为:

$$v = \frac{q}{A} \quad (1-4)$$

调节进入缸体的流量 q , 即可调节活塞的运动速度 v , 这就是液压传动与气压传动能实现无级调速的基本原理。从式(1-4)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。

1.1.3 功率关系

由式(1-1)和式(1-3)可得

$$F_1 v_1 = G v_2 \quad (1-5)$$

式(1-5)左端为液压千斤顶的输入功率,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。由式(1-5)还可得出

$$P = pA_1v_1 = pA_2v_2 = pq \quad (1-6)$$

式(1-6)表明,液压传动中的功率 P 等于压力 p 和流量 q 的乘积。压力 p 和流量 q 是液压传动中最基本、最重要的两个参数,它们相当于机械传动中的力和速度。

液压千斤顶在工作时由小液压缸 3 将外部输入的机械能转换为液体的压力能,再由大液压缸 6 将液体的压力能转换为机械能向外输出,以推动负载。由此可知液压传动的过程就是机械能—液压能—机械能的能量转换过程。液压传动装置本质上是一种能量转换装置。液压传动的工作原理就是利用液体在密封容积发生变化时产生的压力能来实现运动和动力的传递。

1.2 液压传动系统的组成及工程表示

图 1-2 为一简化的液压传动系统,其工作原理如下。

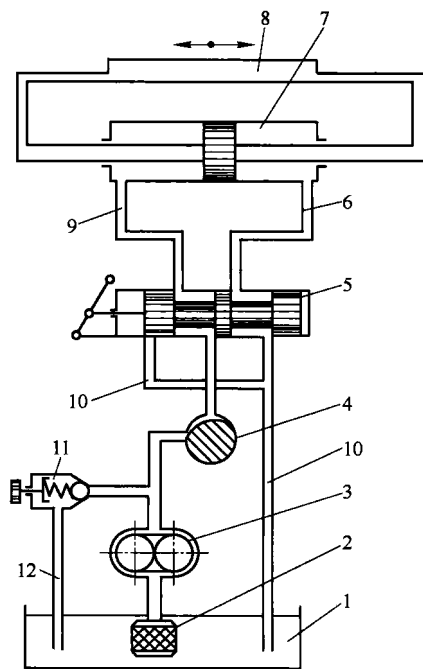


图 1-2 液压传动系统工作原理

1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4—节流阀; 5—换向阀;
6, 9, 10, 12—管道; 7—液压缸; 8—工作台; 11—溢流阀

液压泵 3 由电动机驱动旋转,从油箱 1 经过滤油器 2 吸油。当阀 5 的阀芯处于图示位置时,压力油经阀 4、阀 5 和管道 9 进入液压缸 7 的左腔,推动活塞向右运动。液压缸右腔的油液经管道 6、阀 5 和管道 10 流回油箱。改变阀 5 阀芯的位置,使之处于左端时,液压缸活塞将反向运动。

改变流量控制阀 4 的开口大小,可以改变进入液压缸的流量,从而控制液压缸活塞的运动速度。液压泵排出的多余油液经阀 11 和管道 12 流回油箱。液压缸的工作压力取决于负载。液压泵的最大工作压力由溢流阀 11 调定,其调定值应为液压缸的最大工作压力及系统中油液经阀和

管道的压力损失之总和。因此,系统的工作压力不会超过溢流阀的调定值。溢流阀对系统还起着过载保护作用。

由上述例子可以看出,液压传动系统除了工作介质外,主要由四大部分组成:

- (1) 动力元件——液压泵。它将机械能转换成压力能,向系统提供压力油。
- (2) 执行元件——液压缸或液压马达。它将压力能转换成机械能,推动负载做功。
- (3) 控制元件——液压阀(流量、压力、方向控制阀等)。它们对系统中油液的压力、流量和流向进行控制和调节。
- (4) 辅助元件——系统中除上述三部分以外的其他元件,如油箱、管路、滤油器、蓄能器、管接头、压力表开关等。由这些元件把各部分连接起来,以支持系统的正常工作。

图1-2所示液压系统中,各元件以结构符号表示,所构成的系统原理图直观性强,容易理解,但图形复杂,绘制困难。工程实际中均采用元件的标准职能符号绘制液压系统原理图。职能符号仅表示元件的功能,不表示元件的具体结构及参数。图1-3为采用标准职能符号绘制的液压系统工作原理图,简称液压系统图。

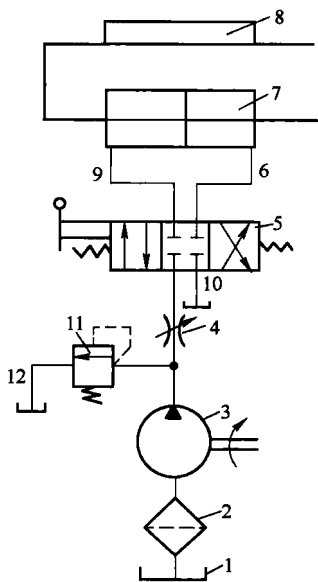


图1-3 液压传动系统工作原理图

1—油箱; 2—滤油器; 3—液压泵; 4—节流阀; 5—换向阀;
6, 9, 10, 12—管道; 7—液压缸; 8—工作台; 11—溢流阀

1.3 液压传动的优缺点

- (1) 液压传动的优点。
 - 1) 能够方便地实现无级调速,调速范围大。
 - 2) 与机械传动和电气传动相比,在相同功率情况下,液压传动系统的体积较小,重量较轻。
 - 3) 工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。
 - 4) 便于实现过载保护,而且工作油液能使传动零件实现自润滑,因此使用寿命较长。
 - 5) 操纵简单,便于实现自动化,特别是和电气控制联合使用时,易于实现复杂的自动工作循环。

6) 液压元件实现了系列化、标准化和通用化,易于设计、制造和推广应用。

(2) 液压传动的主要缺点。

1) 液压传动中不可避免地会出现泄漏,并且液体也不是绝对不可压缩,故无法保证严格的传动比。

2) 液压传动有较多的能量损失(泄漏损失、摩擦损失等),故传动效率不高,不宜作远距离传动。

3) 液压传动对油温的变化比较敏感,不宜在很高或很低的温度下工作。

4) 液压传动出现故障时不易找出原因。

思考题与习题

1-1 什么是液压传动?简述其工作原理。

1-2 液压系统由哪几部分组成,各部分的作用是什么?

1-3 液压系统的压力、速度、功率取决于什么?

1-4 简述液压传动的优缺点。