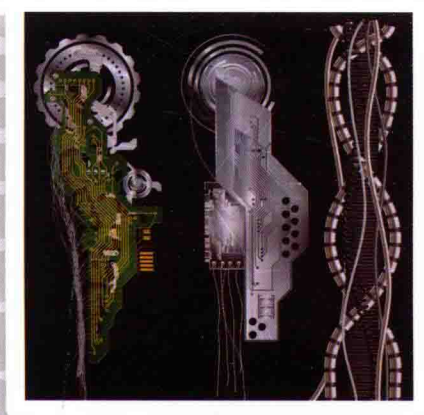


普通高等院校“十三五”规划教材

液压与气压传动

YEYA YU QIYA CHUANDONG

陈 艳 主编



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

普通高等院校“十三五”规划教材

液压与气压传动

主 编 陈 艳

副主编 谭 娟 熊义君 费叶琦



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

06202262(010) 010-51872329 010-51872329 010-51872329

内 容 简 介

本书共 11 章,内容包括绪论、液压泵和液压马达、液压缸、液压辅助元件、方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀及其他液压阀、液压基本回路、典型液压传动系统、液压传动系统的设计与计算、气压传动等。本书在着重阐述基本概念与原理的同时,突出其应用,旨在培养学生的工程应用和设计能力。本书每章均附有习题,并在附录中简要地介绍了常用液压气动图形符号,同时配有多媒体电子教案。

本书适合作为高等工科院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程(机电一体化)、车辆工程、材料成型及控制工程、模具设计与制造、轻工机械等机械工程类专业教材,也适用于各类成人高校、自学考试有关机械工程类专业的学生使用,还可供工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/陈艳主编. —北京:

中国铁道出版社,2017.2

普通高等院校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-113-21858-4

I. ①液… II. ①陈… III. ①液压传动-高等学校-教材②气压传动-高等学校-教材
IV. ①TH138 ②TH137

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 119155 号

书 名:液压与气压传动

作 者:陈 艳 主编

策 划:许 璐

读者热线:(010)63550836

责任编辑:许 璐

编辑助理:钱 鹏

封面设计:付 巍

封面制作:白 雪

责任校对:汤淑梅

责任印制:郭向伟

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街 8 号)

网 址:<http://www.51eds.com>

印 刷:三河市兴达印务有限公司

版 次:2017 年 2 月第 1 版 2017 年 2 月第 1 次印刷

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:11 字数:279 千

书 号:ISBN 978-7-113-21858-4

定 价:32.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社教材图书营销部联系调换。电话(010)63550836

打击盗版举报电话:(010)51873659

前 言

“液压与气压传动”主要是研究液压与气压传动一般规律和具体应用的一门科学,它不仅是机械类各个专业的主要技术基础课,而且也是一门能直接用于工程实际的技术学科。通过本课程的学习,学生可以较好地掌握液压传动的基本理论;了解液压与气压传动领域发展的新技术、新方向,具备液压元件结构、工作原理等方面的知识,能合理选用各类液压元件;使学生初步掌握各种基本回路的相关内容,具有分析、设计液压系统和解决工程实际问题的能力。

本书内容以液压传动为主,气压传动为辅,共 11 章,包括液压传动基本理论、液压泵和液压马达、液压缸、液压辅助元件、方向控制阀、压力控制阀、流量控制阀及其他液压阀、液压基本回路、典型液压系统、液压系统的设计与计算;气压传动基础知识、气动元件及气动回路等。书末附有液压与气压传动图形符号。

本书在编写过程中,贯彻少而精、系统性以及学以致用原则,着重考虑了以下几个方面:

(1)因液压传动与气压传动之间较多的共性,所以以液压传动为主、气压传动为辅的思路进行编写,精简内容,压缩学时,以符合新教学计划的要求,编写思路正确、有新意。

(2)各章内容突出机械类专业特点,充分考虑教学计划的变更和相关专业不同学时的要求,尽量采用图表,以代替文字论述。

(3)贯彻了理论联系实际的原则,知识传授采用基本理论-元件-回路-系统的构成体系,并注重加强实际操作能力的培养,培养学生分析解决实际问题的能力。

(4)本书以少而精的原则取材和编排章节,着重讲解基本原理和基本方法,使学生打下扎实的理论基础,并通过传授基本知识来培养学生的思维能力和创新能力。

(5)本书阐述清楚、文笔流畅、由浅入深、举一反三,有利于学生自学。书中每章末都附有经过精选的习题,有利于学生加深对基本概念的理解,加强基本计算、分析能力,并提高了学生的自主学习能力。

本书由陈艳任主编,谭娟、熊义君、费叶琦任副主编,由陈艳负责全书的统稿。

由于编者水平所限,书中难免存在缺点和不足,恳请广大读者批评指正。

编 者

2016 年 3 月

第 1 章 液压与气压传动概述	1	第 2 章 液压泵	16
1.1 液压传动的组成	1	2.1 液压泵的工作原理	16
1.2 液压传动的特点	2	2.2 液压泵的排量	17
1.3 液压传动的应用	3	2.3 液压泵的流量	18
1.4 气压传动的组成	4	2.4 液压泵的功率	19
1.5 气压传动的特点	5	2.5 液压泵的选用	20
1.6 气压传动的应用	6	2.6 液压泵的符号	21
第 2 章 液压缸	22	第 3 章 液压马达	22
2.1 液压缸的工作原理	22	3.1 液压马达的工作原理	22
2.2 液压缸的排量	23	3.2 液压马达的流量	23
2.3 液压缸的功率	24	3.3 液压马达的转矩	24
2.4 液压缸的选用	25	3.4 液压马达的符号	25
2.5 液压缸的符号	26	第 4 章 液压辅助元件	26
2.6 液压缸的图形符号	27	4.1 滤油器	26
第 3 章 方向控制阀	28	4.2 蓄能器	27
3.1 单向阀	28	4.3 油箱	28
3.2 换向阀	29	4.4 管 件	29
3.3 液控换向阀	30	4.5 热交换器	30
3.4 电磁换向阀	31	第 5 章 压力控制阀	31
3.5 电液换向阀	32	5.1 溢流阀	31
3.6 电液比例换向阀	33	5.2 减压阀	32
3.7 电液比例换向阀	34	5.3 顺序阀	33
3.8 电液比例换向阀	35	5.4 压力继电器	34
3.9 电液比例换向阀	36	5.5 压力开关	35
3.10 电液比例换向阀	37	5.6 压力传感器的应用	36
3.11 电液比例换向阀	38	5.7 压力传感器的应用	37
3.12 电液比例换向阀	39	5.8 压力传感器的应用	38
3.13 电液比例换向阀	40	5.9 压力传感器的应用	39
3.14 电液比例换向阀	41	5.10 压力传感器的应用	40
3.15 电液比例换向阀	42	5.11 压力传感器的应用	41
3.16 电液比例换向阀	43	5.12 压力传感器的应用	42
3.17 电液比例换向阀	44	5.13 压力传感器的应用	43
3.18 电液比例换向阀	45	5.14 压力传感器的应用	44
3.19 电液比例换向阀	46	5.15 压力传感器的应用	45
3.20 电液比例换向阀	47	5.16 压力传感器的应用	46
3.21 电液比例换向阀	48	5.17 压力传感器的应用	47
3.22 电液比例换向阀	49	5.18 压力传感器的应用	48
3.23 电液比例换向阀	50	5.19 压力传感器的应用	49
3.24 电液比例换向阀	51	5.20 压力传感器的应用	50
3.25 电液比例换向阀	52	5.21 压力传感器的应用	51
3.26 电液比例换向阀	53	5.22 压力传感器的应用	52
3.27 电液比例换向阀	54	5.23 压力传感器的应用	53
3.28 电液比例换向阀	55	5.24 压力传感器的应用	54
3.29 电液比例换向阀	56	5.25 压力传感器的应用	55
3.30 电液比例换向阀	57	5.26 压力传感器的应用	56
3.31 电液比例换向阀	58	5.27 压力传感器的应用	57
3.32 电液比例换向阀	59	5.28 压力传感器的应用	58
3.33 电液比例换向阀	60	5.29 压力传感器的应用	59
3.34 电液比例换向阀	61	5.30 压力传感器的应用	60
3.35 电液比例换向阀	62	5.31 压力传感器的应用	61
3.36 电液比例换向阀	63	5.32 压力传感器的应用	62
3.37 电液比例换向阀	64	5.33 压力传感器的应用	63
3.38 电液比例换向阀	65	5.34 压力传感器的应用	64
3.39 电液比例换向阀	66	5.35 压力传感器的应用	65
3.40 电液比例换向阀	67	5.36 压力传感器的应用	66
3.41 电液比例换向阀	68	5.37 压力传感器的应用	67
3.42 电液比例换向阀	69	5.38 压力传感器的应用	68
3.43 电液比例换向阀	70	5.39 压力传感器的应用	69
3.44 电液比例换向阀	71	5.40 压力传感器的应用	70
3.45 电液比例换向阀	72	5.41 压力传感器的应用	71
3.46 电液比例换向阀	73	5.42 压力传感器的应用	72
3.47 电液比例换向阀	74	5.43 压力传感器的应用	73
3.48 电液比例换向阀	75	5.44 压力传感器的应用	74
3.49 电液比例换向阀	76	5.45 压力传感器的应用	75
3.50 电液比例换向阀	77	5.46 压力传感器的应用	76
3.51 电液比例换向阀	78	5.47 压力传感器的应用	77
3.52 电液比例换向阀	79	5.48 压力传感器的应用	78
3.53 电液比例换向阀	80	5.49 压力传感器的应用	79
3.54 电液比例换向阀	81	5.50 压力传感器的应用	80
3.55 电液比例换向阀	82	5.51 压力传感器的应用	81
3.56 电液比例换向阀	83	5.52 压力传感器的应用	82
3.57 电液比例换向阀	84	5.53 压力传感器的应用	83
3.58 电液比例换向阀	85	5.54 压力传感器的应用	84
3.59 电液比例换向阀	86	5.55 压力传感器的应用	85
3.60 电液比例换向阀	87	5.56 压力传感器的应用	86
3.61 电液比例换向阀	88	5.57 压力传感器的应用	87
3.62 电液比例换向阀	89	5.58 压力传感器的应用	88
3.63 电液比例换向阀	90	5.59 压力传感器的应用	89
3.64 电液比例换向阀	91	5.60 压力传感器的应用	90
3.65 电液比例换向阀	92	5.61 压力传感器的应用	91
3.66 电液比例换向阀	93	5.62 压力传感器的应用	92
3.67 电液比例换向阀	94	5.63 压力传感器的应用	93
3.68 电液比例换向阀	95	5.64 压力传感器的应用	94
3.69 电液比例换向阀	96	5.65 压力传感器的应用	95
3.70 电液比例换向阀	97	5.66 压力传感器的应用	96
3.71 电液比例换向阀	98	5.67 压力传感器的应用	97
3.72 电液比例换向阀	99	5.68 压力传感器的应用	98
3.73 电液比例换向阀	100	5.69 压力传感器的应用	99
3.74 电液比例换向阀	101	5.70 压力传感器的应用	100
3.75 电液比例换向阀	102	5.71 压力传感器的应用	101
3.76 电液比例换向阀	103	5.72 压力传感器的应用	102
3.77 电液比例换向阀	104	5.73 压力传感器的应用	103
3.78 电液比例换向阀	105	5.74 压力传感器的应用	104
3.79 电液比例换向阀	106	5.75 压力传感器的应用	105
3.80 电液比例换向阀	107	5.76 压力传感器的应用	106
3.81 电液比例换向阀	108	5.77 压力传感器的应用	107
3.82 电液比例换向阀	109	5.78 压力传感器的应用	108
3.83 电液比例换向阀	110	5.79 压力传感器的应用	109
3.84 电液比例换向阀	111	5.80 压力传感器的应用	110
3.85 电液比例换向阀	112	5.81 压力传感器的应用	111
3.86 电液比例换向阀	113	5.82 压力传感器的应用	112
3.87 电液比例换向阀	114	5.83 压力传感器的应用	113
3.88 电液比例换向阀	115	5.84 压力传感器的应用	114
3.89 电液比例换向阀	116	5.85 压力传感器的应用	115
3.90 电液比例换向阀	117	5.86 压力传感器的应用	116
3.91 电液比例换向阀	118	5.87 压力传感器的应用	117
3.92 电液比例换向阀	119	5.88 压力传感器的应用	118
3.93 电液比例换向阀	120	5.89 压力传感器的应用	119
3.94 电液比例换向阀	121	5.90 压力传感器的应用	120
3.95 电液比例换向阀	122	5.91 压力传感器的应用	121
3.96 电液比例换向阀	123	5.92 压力传感器的应用	122
3.97 电液比例换向阀	124	5.93 压力传感器的应用	123
3.98 电液比例换向阀	125	5.94 压力传感器的应用	124
3.99 电液比例换向阀	126	5.95 压力传感器的应用	125
3.100 电液比例换向阀	127	5.96 压力传感器的应用	126
第 4 章 液压辅助元件	128	5.97 压力传感器的应用	127
4.1 滤油器	128	5.98 压力传感器的应用	128
4.2 蓄能器	129	5.99 压力传感器的应用	129
4.3 油箱	130	5.100 压力传感器的应用	130
4.4 管 件	131	第 5 章 典型液压传动系统	131
4.5 热交换器	132	5.1 组合机床动力滑台液压	131
第 5 章 方向控制阀	133	系统	131
5.1 单向阀	133	5.2 液压机液压系统	132
5.2 换向阀	134	5.3 汽车起重机液压系统	133
5.3 液控换向阀	135	习 题	133
5.4 电液换向阀	136		
5.5 电液比例换向阀	137		
5.6 电液比例换向阀	138		
5.7 电液比例换向阀	139		
5.8 电液比例换向阀	140		
5.9 电液比例换向阀	141		
5.10 电液比例换向阀	142		
5.11 电液比例换向阀	143		
5.12 电液比例换向阀	144		
5.13 电液比例换向阀	145		
5.14 电液比例换向阀	146		
5.15 电液比例换向阀	147		
5.16 电液比例换向阀	148		
5.17 电液比例换向阀	149		
5.18 电液比例换向阀	150		
5.19 电液比例换向阀	151		
5.20 电液比例换向阀	152		
5.21 电液比例换向阀	153		
5.22 电液比例换向阀	154		
5.23 电液比例换向阀	155		
5.24 电液比例换向阀	156		
5.25 电液比例换向阀	157		
5.26 电液比例换向阀	158		
5.27 电液比例换向阀	159		
5.28 电液比例换向阀	160		
5.29 电液比例换向阀	161		
5.30 电液比例换向阀	162		
5.31 电液比例换向阀	163		
5.32 电液比例换向阀	164		
5.33 电液比例换向阀	165		
5.34 电液比例换向阀	166		
5.35 电液比例换向阀	167		
5.36 电液比例换向阀	168		
5.37 电液比例换向阀	169		
5.38 电液比例换向阀	170		
5.39 电液比例换向阀	171		
5.40 电液比例换向阀	172		
5.41 电液比例换向阀	173		
5.42 电液比例换向阀	174		
5.43 电液比例换向阀	175		
5.44 电液比例换向阀	176		
5.45 电液比例换向阀	177		
5.46 电液比例换向阀	178		
5.47 电液比例换向阀	179		
5.48 电液比例换向阀	180		
5.49 电液比例换向阀	181		
5.50 电液比例换向阀	182		
5.51 电液比例换向阀	183		
5.52 电液比例换向阀	184		
5.53 电液比例换向阀	185		
5.54 电液比例换向阀	186		
5.55 电液比例换向阀	187		
5.56 电液比例换向阀	188		
5.57 电液比例换向阀	189		
5.58 电液比例换向阀	190		
5.59 电液比例换向阀	191		
5.60 电液比例换向阀	192		
5.61 电液比例换向阀	193		
5.62 电液比例换向阀	194		
5.63 电液比例换向阀	195		
5.64 电液比例换向阀	196		
5.65 电液比例换向阀	197		
5.66 电液比例换向阀	198		
5.67 电液比例换向阀	199		
5.68 电液比例换向阀	200		
5.69 电液比例换向阀	201		
5.70 电液比例换向阀	202		
5.71 电液比例换向阀	203		
5.72 电液比例换向阀	204		
5.73 电液比例换向阀	205		
5.74 电液比例换向阀	206		
5.75 电液比例换向阀	207		
5.76 电液比例换向阀	208		
5.77 电液比例换向阀	209		
5.78 电液比例换向阀	210		
5.79 电液比例换向阀	211		
5.80 电液比例换向阀	212		
5.81 电液比例换向阀	213		
5.82 电液比例换向阀	214		
5.83 电液比例换向阀	215		
5.84 电液比例换向阀	216		
5.85 电液比例换向阀	217		
5.86 电液比例换向阀	218		
5.87 电液比例换向阀	219		
5.88 电液比例换向阀	220		
5.89 电液比例换向阀	221		
5.90 电液比例换向阀	222		
5.91 电液比例换向阀	223		
5.92 电液比例换向阀	224		
5.93 电液比例换向阀	225		
5.94 电液比例换向阀	226		
5.95 电液比例换向阀	227		
5.96 电液比例换向阀	228		
5.97 电液比例换向阀	229		
5.98 电液比例换向阀	230		
5.99 电液比例换向阀	231		
5.100 电液比例换向阀	232		

目 录

第1章 绪 论..... 1

- 1.1 液压传动的定义 1
- 1.2 液压传动的工作原理及系统构成 1
- 1.3 液压传动的优缺点 5
- 1.4 液压传动的应用及发展 5
- 1.5 液压传动的工作介质 6
- 习 题 10

第2章 液压泵和液压马达 11

- 2.1 概 述..... 11
- 2.2 齿 轮 泵..... 14
- 2.3 叶 片 泵..... 18
- 2.4 柱 塞 泵..... 24
- 2.5 液压马达..... 28
- 2.6 液压泵和液压马达的选用..... 32
- 习 题 32

第3章 液 压 缸 34

- 3.1 液压缸的分类..... 34
- 3.2 液压缸的结构..... 39
- 3.3 液压缸的设计与计算..... 45
- 习 题 47

第4章 液压辅助元件 48

- 4.1 滤 油 器..... 48
- 4.2 蓄 能 器..... 50
- 4.3 油 箱..... 53
- 4.4 管 件..... 54
- 4.5 热交换器..... 57
- 习 题 58

第5章 方向控制阀 59

- 5.1 单 向 阀..... 59

5.2 换 向 阀..... 62

- 5.3 方向控制回路..... 73
- 习 题 76

第6章 压力控制阀 78

- 6.1 溢 流 阀..... 78
- 6.2 减 压 阀..... 84
- 6.3 顺 序 阀..... 86
- 6.4 压力继电器..... 89
- 6.5 压力控制回路..... 90
- 习 题 92

第7章 流量控制阀及其他液压阀 96

- 7.1 节 流 阀..... 96
- 7.2 调 速 阀..... 98
- 7.3 分 流 阀 101
- 7.4 插 装 阀 102
- 7.5 液压阀的连接 105
- 习 题..... 105

第8章 液压基本回路..... 108

- 8.1 快速运动回路 108
- 8.2 调速回路 109
- 8.3 同步回路 116
- 8.4 顺序回路 117
- 8.5 平衡回路 119
- 8.6 卸荷回路 120
- 习 题..... 121

第9章 典型液压传动系统..... 124

- 9.1 组合机床动力滑台液压系统 124
- 9.2 液压机液压系统 127
- 9.3 汽车起重机液压系统 130
- 习 题..... 133

第 10 章 液压传动系统的设计与计算... 135

10.1 液压传动系统的设计
计算..... 135

10.2 液压传动系统设计计
算举例..... 138

习 题..... 144

第 11 章 气压传动 145

11.1 气压传动概述..... 146

11.2 气源装置及辅件..... 147

11.3 气动执行元件..... 153

11.4 气动控制元件..... 157

11.5 气动回路举例..... 162

习 题..... 164

附录 A 图形符号对照表..... 165

参考文献..... 170

第1章

绪论

1.1 液压传动的定义

一部完整的机器由原动机、传动部分、控制部分和工作机构等组成。传动部分是一个中间环节,它的作用是把原动机(电动机、内燃机等)的输出功率传送给工作机构。传动有多种类型,如机械传动、电力传动、液体传动、气压传动以及它们的组合——复合传动等。

用液体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为液体传动。按照其工作原理的不同,液体传动又可分为液压传动和液力传动两种形式。液压传动主要是利用液体的压力能来传递能量;而液力传动则主要是利用液体的动能来传递能量。液压传动是以液体为工作介质,通过驱动装置将原动机的机械能转换为液体的压力能,然后通过管道、液压控制及调节装置等,借助执行装置,将液体的压力能转换为机械能,驱动负载实现直线或回转运动。

用气体作为工作介质进行能量传递的传动方式称为气压传动。气压传动是利用压缩气体的压力能来实现能量传递的一种传动方式,其介质主要是空气,也包括燃气和蒸汽。

1.2 液压传动的工作原理及系统构成

1.2.1 液压传动的工作原理

液压与气压传动的基本工作原理是相似的,现以图 1.1 所示的液压千斤顶来简述液压传动的工作原理。如图 1.1 所示,当向上抬起杠杆时,手动液压泵的小活塞向上运动,小液压缸 1 的下腔容积增大形成局部真空,排油单向阀 2 关闭,油箱 4 的油液在大气压作用下经吸油管顶开吸油单向阀 3 进入小液压缸下腔。当向下压杠杆时,小液压缸下腔容积减小,油液受挤压,压力升高。关闭吸油单向阀 3,顶开排油单向阀 2,油液经排油管进入大液压缸 6 的下腔。推动大活塞上移顶起重物。如此不断上下扳动杠杆,则不断有油液进入大液压缸下腔,使重物逐渐举升。如杠杆停止动作,大液压缸下腔油液压力将使排油单向阀 2 关闭,大活塞连同重物一起被自锁,停止在举升位置。如打开截止阀 5,大液压缸下腔通油箱,大活塞将在自重作用下向下移动,迅速回复到原始位置。

由液压千斤顶的工作原理得知:

液压缸 1 与单向阀 2、3 一起完成吸油与排油,将杠杆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 6 将油液的压力能转换为机械能输出,抬起重物,称为(举升)液压缸。在这里大、小液压缸组成了最简单的液压传动系统,实现了力和运动的传递。

1. 力的传递

设液压缸活塞面积为 A_2 , 作用在活塞上的负载力为 F_2 。该力在液压缸中所产生的液体压力为

$$p_2 = F_2 / A_2 \quad (1.1)$$

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”, 液压泵的排油压力 p_1 应等于液压缸中的液体压力 p_2 , 即

$$p_1 = p_2 = p \quad (1.2)$$

为了克服负载力使液压缸活塞运动, 应使作用在液压泵活塞上的作用力 F_1 为

$$F_1 = p_1 A_1 = p_2 A_1 = p A_1 \quad (1.3)$$

式中 A_1 ——液压泵活塞面积。

由式(1.1)、式(1.2)和式(1.3)可得

$$F_1 A_2 = F_2 A_1 \quad (1.4)$$

在 A_1 、 A_2 一定时, 负载力 F_2 越大, 系统中的压力 p 也越高, 所需的作用力 F_1 也越大, 即系统压力与外负载密切相关。这是液压与气压传动工作原理的第一个特征: 液压与气压传动中的工作压力取决于外负载。

2. 运动的传递

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形, 液压泵排出的液体体积必然等于进入液压缸的液体体积。我们把单位时间内从液压泵中排出的液体体积或进入液压缸的液体体积称为流量。设液压泵活塞位移为 h_1 , 液压缸活塞位移为 h_2 , 运动时间为 t , 则有

$$h_1 A_1 = h_2 A_2 \quad (1.5)$$

又

$$v_1 = \frac{h_1}{t}, v_2 = \frac{h_2}{t} \quad (1.6)$$

则

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 \quad (1.7)$$

式中: v_1 、 v_2 ——液压泵活塞和液压缸活塞的平均运动速度;

q_1 、 q_2 ——液压泵输出的平均流量和液压缸输入的平均流量。

由上述可见, 液压与气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。调节进入液压缸的流量 q 即可调节活塞的运动速度 v 。这是液压与气压传动工作原理的第二个特征: 活塞的运动速度只取决于输入流量的大小, 而与外负载无关。

3. 功率

由式(1.4)和式(1.7)可得

$$F_1 v_1 = F_2 v_2 \quad (1.8)$$

式(1.8)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。由式(1.7)和式(1.8)还可得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1.9)$$

由式(1.9)可知, 液压与气压传动中的功率 P 可以用压力 p 和流量 q 的乘积来表示, 压力

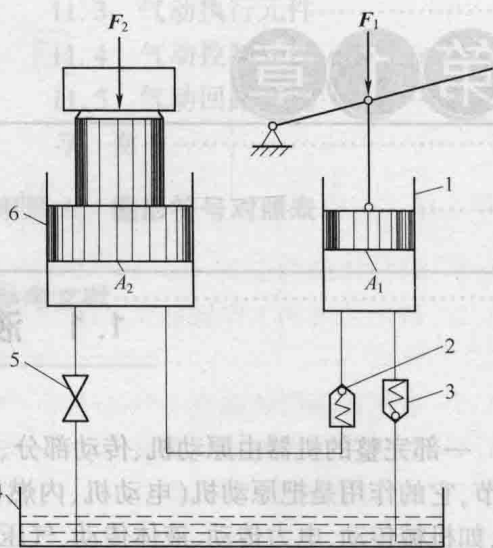


图 1.1 液压千斤顶工作原理图

1—小液压缸; 2—排油单向阀; 3—吸油单向阀;
4—油箱; 5—截止阀; 6—大液压缸

和流量是流体传动中最基本、最重要的参数,相当于机械传动中的力 F 和速度 v ,它们的乘积即为功率。

由以上分析可知,液压传动和气压传动是以流体的压力能来传递动力的。

1.2.2 液压传动系统的组成

以图 1.2 所示磨床工作台液压系统为例说明液压系统的组成。它的工作原理如下: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,以液压泵输入的压力油通过手动换向阀 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,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 1.2(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

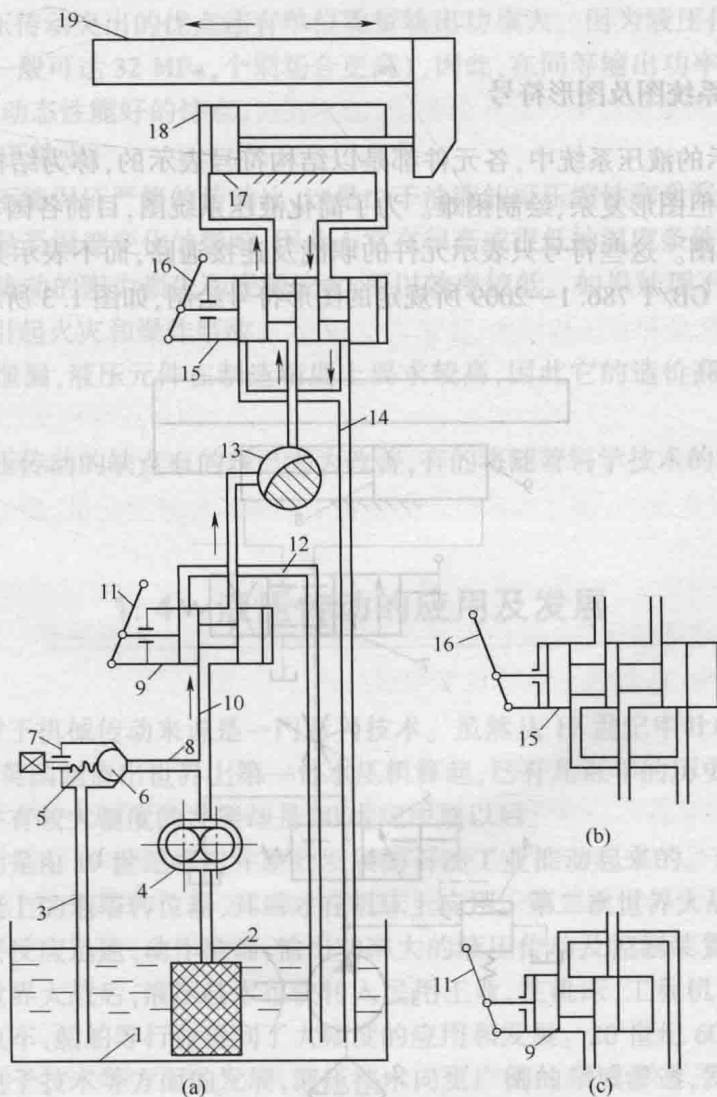


图 1.2 磨床工作台液压传动系统工作原理图

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

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,其余的由溢流阀7流回油箱。如果将手动换向阀9转换成如图1.2(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,液压系统处于卸荷状态。

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) 液压泵(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“心脏”。
- (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。
- (4) 辅助元件——上述三个组成部分以外的其他元件,如管道、管接头、油箱、滤油器等为辅助元件。

1.2.3 液压传动系统图及图形符号

图1.2(a)所示的液压系统中,各元件都是以结构符号表示的,称为结构式原理图。它直观性强,容易理解,但图形复杂,绘制困难。为了简化液压系统图,目前各国均用元件的图形符号来绘制液压系统图。这些符号只表示元件的职能及连接通路,而不表示其结构。目前我国的液压系统图采用GB/T 786.1—2009所规定的图形符号绘制,如图1.3所示。

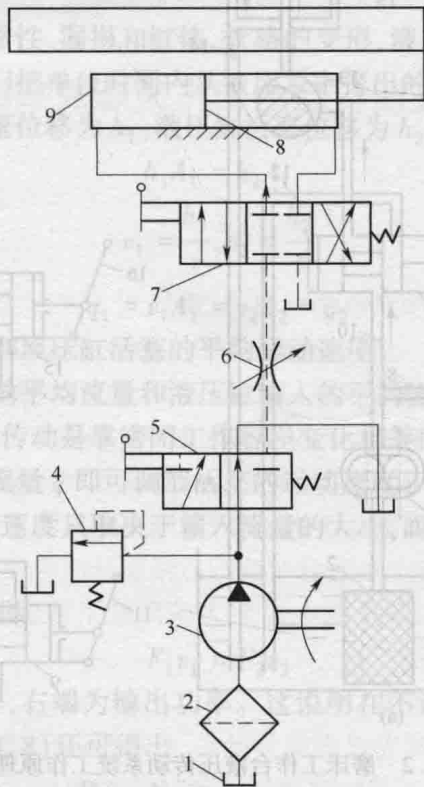


图 1.3 用图形符号表示的磨床工作台液压系统图

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

1.3 液压传动的优缺点

与机械传动和电气系统相比,液压传动具有以下优点:

- (1) 液压元件的布置不受严格的空間位置限制,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) 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。
- (3) 液压传动传递运动均匀平稳,易于实现快速启动、制动和频繁的换向。
- (4) 操作控制方便、省力,易于实现自动控制、中远程距离控制、过载保护。与电气控制、电子控制相结合,易于实现自动工作循环和自动过载保护。
- (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,有利于缩短机器的设计、制造周期并降低制造成本。

除此之外,液压传动突出的优点还有单位质量输出功率大。因为液压传动的动力元件可采用很高的压力(一般可达 32 MPa,个别场合更高),因此,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。

液压传动有如下缺点:

- (1) 液压传动不能保证严格的传动比,这是由于油液的可压缩性和泄漏造成的。
- (2) 工作性能易受温度变化的影响,因此不宜在很高或很低的温度条件下工作。
- (3) 由于流体流动的阻力损失和泄漏较大,所以效率较低。如果处理不当,泄漏不仅污染场地,而且还可能引起火灾和爆炸事故。
- (4) 为了减少泄漏,液压元件在制造精度上要求较高,因此它的造价高,且对油液的污染比较敏感。

总的说来,液压传动的缺点有的现已大为改善,有的将随着科学技术的发展而进一步得到克服。

1.4 液压传动的应用及发展

液压传动相对于机械传动来说是一门新兴技术。虽然从 17 世纪中叶帕斯卡提出静压传递原理,18 世纪末英国制造出世界上第一台水压机算起,已有几百年的历史,但液压传动在工业上被广泛采用并有较大幅度的发展却是 20 世纪中期以后。

近代液压传动是由 19 世纪崛起并蓬勃发展的石油工业推动起来的。最早实践成功的液压传动装置是舰艇上的炮塔转位器,其后才在机床上应用。第二次世界大战期间,由于军事工业和装备迫切需要反应迅速、动作准确、输出功率大的液压传动及控制装置,促使液压技术迅速发展。第二次世界大战后,液压技术很快转入民用工业、在机床、工程机械、冶金机械、塑料机械、农林机械、汽车、船舶等行业得到了大幅度的应用和发展。20 世纪 60 年代以后,随着原子能、空间技术、电子技术等方面的发展,液压技术向更广阔的领域渗透,发展成为包括传动、控制和检测在内的一门完整的自动化技术。现今,采用液压传动的程度已成为衡量一个国家工业水平的重要标志之一。如发达国家 95% 的工程机械、90% 的数控加工中心、95% 以上的自动线都采用了液压传动。

随着液压机械自动化程度的不断提高,液压元件应用数量急剧增加,元件小型化、系统集成化是必然的发展趋势。特别是近十年来,液压技术与传感技术、微电子技术密切结合,出现了许多诸如电液比例控制阀、数字阀、电液伺服液压缸等机(液)电一体化元器件,使液压技术在高压、高速、大功率、节能高效、低噪声、使用寿命长、高度集成化等方面取得了重大进展。无疑,液压元件和液压系统的计算机辅助设计(CAD)、计算机辅助试验(CAT)和计算机实时控制也是当前液压技术的发展方向。

1.5 液压传动的工作介质

1.5.1 液压传动工作介质的性质

液压传动的工作介质是液压油。液压油具有如下性质:

1. 密度

单位体积液体的质量称为该液体的密度,用 ρ 表示。即

$$\rho = m/V \quad (1.10)$$

式中: m ——体积为 V 的液体的质量(kg);

V ——液体的体积(m^3)。

液体的密度随温度的升高而下降,随压力的增加而增大。对于液压传动中常用的液压油(矿物油)来说,在常温和常压范围内,密度变化很小,可视为常数。在计算时,常取 $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的液压油密度 $\rho=900\text{ kg/m}^3$ 。

2. 可压缩性

液体受压力作用而发生体积减小的性质称为液体的可压缩性。可压缩性的大小用体积压缩系数 k 来表示,其定义为:液体在单位压力变化下的体积相对变化量,即

$$k = -\frac{1}{\Delta p} \left(\frac{\Delta V}{V} \right) \quad (1.11)$$

式中: V ——增压前液体的体积(m^3);

ΔV ——压力变化 Δp 时液体体积的变化量(m^3);

Δp ——液体压力的变化量(N)。

由于压力增大时液体的体积减小,因此上式的右边须加一负号,使 k 为正值,常用液压油的体积压缩系数 $k=(5\sim7)\times 10^{-10}(\text{m}^3/\text{N})$ 。对于一般液压系统,可认为油液是不可压缩的。只有在研究液压系统的动态特性和高压情况下,才考虑油液的可压缩性。但是,若液压油中混入空气,其可压缩性将显著增强,并将严重影响液压系统的工作性能,故液压系统中应尽量减少油液中的空气含量。

3. 黏性

(1) 黏性的意义

液体在外力作用下流动时,因分子间的内聚力阻碍分子间的相对运动而产生内摩擦力的性质称为黏性。黏性是液体的重要物理性质,也是选择液压用油的主要依据。液体流动时,由于它和固体壁面间的附着力以及它的黏性,会使其内各液层间的速度大小不等。设在两个平行平板之间充满液体,两平行平板间的距离为 h ,如图1.4所示。当上平板

以速度 v_0 相对于静止的下平板向右移动时,紧贴于上平板极薄的一层液体,在附着力的作用下,随着上平板一起以 μ_0 的速度向右运动;紧贴于下平板极薄的一层液体和下平板一起保持不动;而中间各层液体则从上到下按递减的速度向右运动,这是因为相邻两薄层液体间存在内摩擦力,该力对上层液体起阻滞作用,而对下层液体起拖曳作用。当两平板间的距离较小时,各液层的速度按线性规律分布。

实验测定指出:液体流动时,相邻液层间的内摩擦力 F 与液层间的接触面积 A 和液层间相对运动的速度 dv 成正比,而与液层间的距离 dy 成反比。即

$$F = \mu A \frac{dv}{dy} \quad (1.12)$$

若用单位面积上的摩擦力 τ (切应力) 来表示,则上式可以改写成

$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (1.13)$$

式中: μ ——比例系数,称为动力黏度;

$\frac{dv}{dy}$ ——速度梯度,即相对运动速度对液层距离的变化率。

上式称为牛顿液体内摩擦定律。

由上式可知,在静止液体中,因速度梯度 $d\mu/dy = 0$,故内摩擦力为 0,因此液体在静止状态下是不呈现黏性的。

(2) 液体的黏度

液体黏性的大小用黏度表示。常用的黏度有三种,即动力黏度、运动黏度和相对黏度。

① 动力黏度 μ 。动力黏度又称绝对黏度,它表征液体黏性的内摩擦因数,由式 (1.13) 可得

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} \quad (1.14)$$

由此可知,液体动力黏度的物理意义是:当速度梯度等于 1 时,流动液体液层间单位面积上的内摩擦力,即为动力黏度。

动力黏度 μ 的法定计量单位是 $\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$ 或用 $\text{Pa} \cdot \text{s}$ 表示。

② 运动黏度 ν 。动力黏度 μ 和液体密度 ρ 之比值称为运动黏度,用 ν 表示。即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.15)$$

运动黏度 ν 没有明确的物理意义。因为在其单位中只有长度和时间的量纲,所以称为运动黏度,它在液压分析和计算中是一个经常遇到的物理量。

运动黏度 ν 的法定计量单位是 m^2/s 。

就物理意义来说,运动黏度 ν 并不是衡量黏度的量,但工程中常用它来标志液体的黏度。

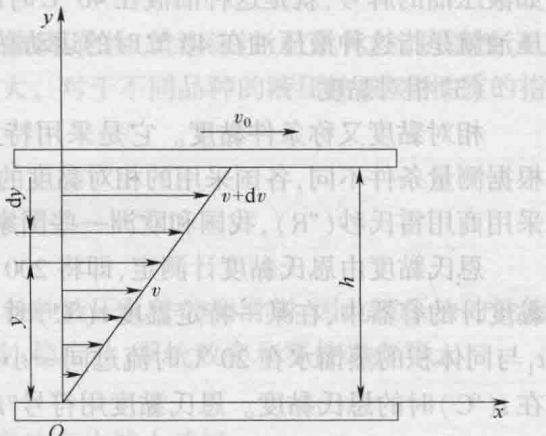


图 1.4 液体黏性示意图

如液压油的牌号,就是这种油液在 40 ℃ 时的运动黏度 ν (m^2/s) 的平均值。例如 YA-N32 液压油就是指这种液压油在 40 ℃ 时的运动黏度 ν 的平均值为 32 m^2/s 。

(3) 相对黏度

相对黏度又称条件黏度。它是采用特定的黏度计,在规定的条件下测出来的液体黏度。根据测量条件不同,各国采用的相对黏度的单位也不同。如美国采用国际赛氏秒(SSU),英国采用商用雷氏秒("R),我国和欧洲一些国家采用恩氏黏度($^{\circ}\text{E}$)。

恩氏黏度由恩氏黏度计测定,即将 200 cm^3 的被测液体装入底部有 $\phi 2.8 \text{ mm}$ 小孔的恩氏黏度计的容器中,在某一特定温度 t ($^{\circ}\text{C}$) 时,测定全部液体在自重作用下流过小孔所需的时间 t_1 与同体积的蒸馏水在 20 ℃ 时流过同一小孔所需的时间 t_2 ($t_2 = 50 \sim 52 \text{ s}$) 之比值,便是该液体在 t ($^{\circ}\text{C}$) 时的恩氏黏度。恩氏黏度用符号 $^{\circ}\text{E}_t$ 表示

$$^{\circ}\text{E}_t = \frac{t_1}{t_2} \quad (1.16)$$

恩氏黏度和运动黏度之间可用下面经验公式换算

$$\nu = \left(7.31^{\circ}\text{E} - \frac{6.31}{^{\circ}\text{E}} \right) \times 10^{-6} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (1.17)$$

液体的黏度随液体的压力和温度而变。对液压传动工作介质来说,压力增大时,黏度增大。在一般液压系统使用的压力范围内,增大的数值很小,可以忽略不计。但液压传动工作介质的黏度对温度的变化十分敏感,如图 1.5 所示,温度升高,黏度下降。这个变化率的大小直接影响液压传动工作介质的使用,其重要性不亚于黏度本身。

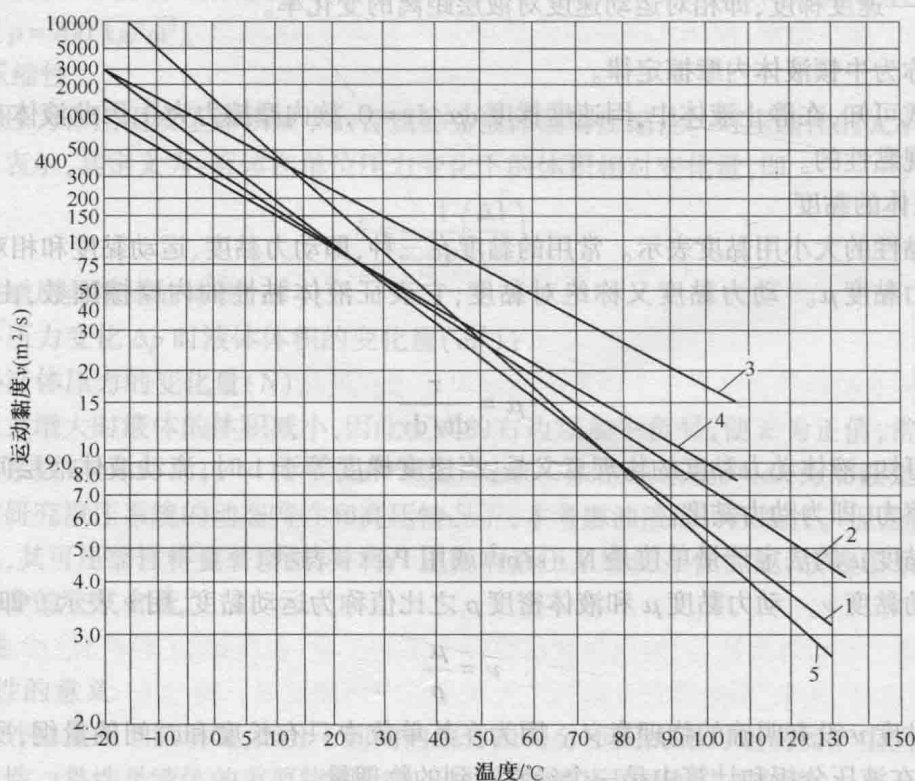


图 1.5 液压介质的黏温曲线

1—YA 液压油;2—YD 液压油;3—YRB 液压油;4—YRC 液压油;5—YRD 液压油

4. 其他特性

液压油还有其他一些物理化学性质,如抗燃性、抗氧化性、抗泡沫性、抗乳化性、防锈性、抗磨性等,这些性质对液压系统的工作性能也影响较大。对于不同品种的液压油,这些性质的指标是不同的,具体应用时可查油类产品手册。

1.5.2 对液压传动工作介质的要求和选用

1. 要求

液压油既是液压传动与控制的工作介质,又是各种液压元件的润滑剂,因此液压油的性能会直接影响液压系统的性能,如工作可靠性、灵敏性、稳定性、系统效率和零件寿命等。

选用液压油时应满足下列要求:

- (1)黏温性好。在使用温度范围内,黏度随温度的变化越小越好。
- (2)润滑性能好。在规定的范围内有足够的油膜强度,以免产生干摩擦。
- (3)化学稳定性好。在储存和工作过程中不易氧化变质,以防胶质沉淀物影响系统正常工作;防止油液变酸,腐蚀金属表面。
- (4)质地纯净,抗泡沫性好。油液中含有机机械杂质易堵塞油路,若含有易挥发性物质,则会使油液中产生气泡,影响运动平稳性。
- (5)闪点。明火能使油面上油蒸气闪燃,但油本身不燃烧时的温度要高,凝固点要低。油液用于高温场合时,为了防火安全,闪点要求高;在温度低的环境下工作时,凝固点要求低。

2. 种类和选用

液压油的品种很多,主要可分为三大类型:矿物油型、合成型和乳化型。液压油的主要品种及性质见表 1.1。

表 1.1 液压油的主要品种及其性质

性能 种类	可燃性液压油			抗燃性液压油			
	矿物油型			合成型		乳化型	
	通用液压油	抗磨液压油	低温液压油	磷酸脂液	水-乙二醇度	油包水液	水包油液
密度/($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	850~900			1100~1500	1040~1100	920~940	1000
黏度	小~大	小~大	小~大	小~大	小~大	小	小
黏度指数 VI 不小于	90	95	130	130~180	140~170	130~150	极高
润滑性	优	优	优	优	良	良	可
防腐性	优	优	优	良	良	良	可
闪点($^{\circ}\text{C}$)不低于	170~200	170	150~170	难燃	难燃	难燃	不燃
凝固点($^{\circ}\text{C}$)不高于	-10	-25	-35~-45	-20~-50	-50	-25	-5

正确选用液压油,是保证液压设备高效率正常运转的前提。目前,90%以上的液压系统采用矿物油型液压油为工作介质。选用时,普通液压油优先考虑,有特殊要求时,则选用抗磨、低温或高黏度指数的液压油,如没有普通液压油,则可用汽轮机油或机械油代用;合成型液压油价格贵,只有在某些特殊设备中,例如在对抗燃性要求高并且使用压力高、温度变化范围大等情况下采用;在工作压力不高时,高水基乳化液也是一种良好的抗燃液。在选用液压油时,合适的黏度有时更为重要。黏度的高低将影响运动部件的润滑、缝隙的泄漏以及流动时的压力损失、系统的发热等。一般根据黏度选择液压油的原则是:运动速度高或配合间隙小时,宜采

用黏度较低的液压油以减少摩擦损失;工作压力高或温度高时,宜采用黏度较高的液压油以减少泄漏。实际上系统中使用的液压泵对液压油黏度的选用往往起决定性作用。此时可根据表 1.2 的推荐来选用油液黏度。

表 1.2 液压泵采用油液的黏度表

液压泵类型		环境温度 5~40℃ $\nu \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) (40^\circ\text{C})$	环境温度 40~80℃ $\nu \times 10^{-6} (\text{m}^2/\text{s}) (40^\circ\text{C})$
叶片泵	$p < 7 \text{ MPa}$	30~50	40~75
	$p \geq 7 \text{ MPa}$	50~70	55~90
齿轮泵		30~70	95~165
轴向柱塞泵		40~75	70~150
径向柱塞泵		30~80	65~240

习 题

- 1.1 什么是液压传动? 液压传动所用的工作介质是什么?
- 1.2 液压传动系统有哪些基本组成部分? 试说明各组成部分的作用。
- 1.3 液压元件在液压系统图中是怎样表示的?
- 1.4 液压传动与机械传动、电气传动比较, 有哪些主要的优缺点?
- 1.5 液压油液的黏度有几种表示方法? 它们各用什么符号表示? 它们又各用什么单位?
- 1.6 如图 1.6 所示的液压千斤顶, 小柱塞直径 $d = 10 \text{ mm}$, 行程 $S_1 = 25 \text{ mm}$, 大柱塞直径 $D = 50 \text{ mm}$, 重物产生的力 $F_2 = 50\,000 \text{ N}$, 手压杠杆比 $L:l = 500:25$, 试求: (1) 此时密封容积中的液体压力 p 是多少? (2) 杠杆端施加力 F_1 为多少时, 才能举起重物? (3) 在不计泄漏的情况下, 杠杆上下动作一次, 重物的上升高度 S_2 是多少?

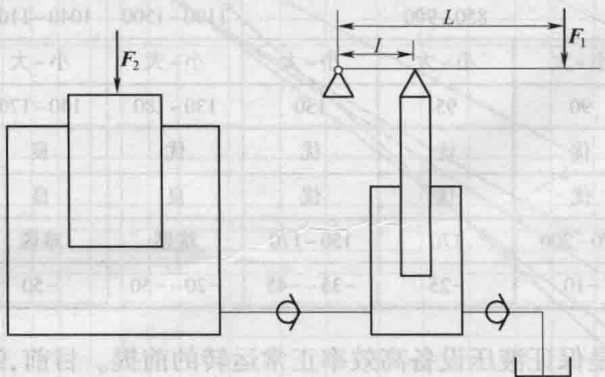


图 1.6 题 1.6 图

第2章

液压泵和液压马达

2.1 概 述

在液压系统中,液压泵和液压马达都是能量转换元件,液压泵用于将机械能转换为液体的压力能,是动力元件;液压马达是液压泵的逆装置,可将液体的压力能转换为机械能并输出运动,是执行元件。图 2.1(a)、(b)表示了液压泵和液压马达的能量转换关系。

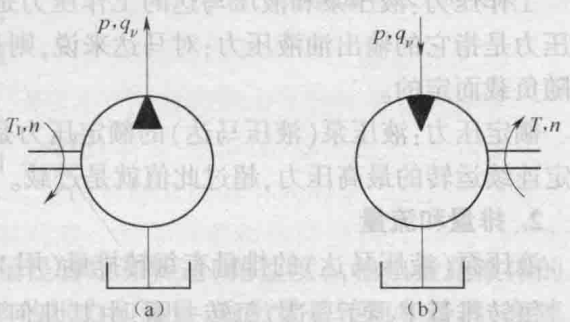


图 2.1 液压泵和液压马达的能量转换关系

液压系统中使用的液压泵和液压马达都是容积式的,其工作原理是利用密封容积变化来产生压力能(液压泵),或输出机械能(液压马达)。

2.1.1 液压泵和液压马达的工作原理

图 2.2 是容积式液压泵的工作原理图。凸轮 1 旋转时,柱塞 2 在凸轮 1 和弹簧 3 的作用下左右移动,柱塞向右移动时,柱塞 2 和缸体组成的密封容积 4 变大,形成真空,油箱中的油液在大气压的作用下经单向阀 5 和油管吸入,当凸轮推动柱塞向左运动时密封空间变小,已吸入的油液受到挤压,经单向阀 6 排到液压系统中去。凸轮不断地运动,密封容积周期性变小和增大完成排油和吸油。

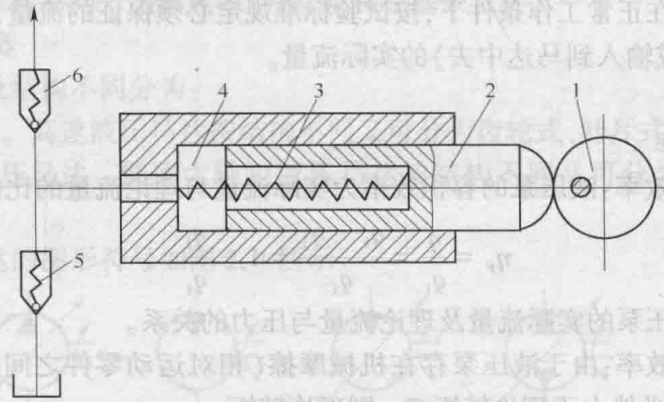


图 2.2 容积式液压泵的工作原理

1—凸轮;2—柱塞;3—弹簧;4—密封容积;5、6—单向阀

由此可见,容积式泵的工作原理是: