



液压工程师实用技术丛书

液压技术 360° 学习方案

液压元件与选用

牛海山 浦艳敏 王春蓉 等编著

最新

采用最新修订的国家标准

► 充分体现液压行业最新技术成果

► 服务高级液压技术人才

► 四大特色：基础、先进、系统、实用



化学工业出版社



液压工程师实用技

液压元件与选用

牛海山 浦艳敏 王春蓉 等编著



化学工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

液压元件与选用/牛海山, 浦艳敏, 王青蓉等编著. —北京:
化学工业出版社, 2015. 1

(液压工程师实用技术丛书)

ISBN 978-7-122-22204-6

I. ①液… II. ①牛… ②浦… ③王… III. ①液压元件
IV. ①TH137.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 252357 号

液压元件与选用

牛海山 王青蓉 浦艳敏 编著

责任编辑: 王 焯
责任校对: 陶燕华

文字编辑: 张绪瑞
装帧设计: 刘丽华



出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 装: 大厂聚鑫印刷有限责任公司

787mm×1092mm 1/16 印张 20 字数 547 千字

2015 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686)

售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 88.00 元

版权所有 违者必究

前言

本书立足于工程设计及应用实际，主要介绍了目前液压行业常用的各种液压元件（液压泵、液压缸、液压马达、液压阀、液压辅助装置、液压伺服控制元件、电液比例控制元件等）的结构原理、规格型号、应用范围。在编写过程中，紧密结合液压技术的最新成果，融先进性、实用性、知识性、资料性、指导性于一体，读者可在了解液压相关内容的基础上，通过阅读本书，进一步了解和把握液压元件的现状，并解决实际工作中液压元件的各类问题。本书力求涵盖目前国内液压元件主要生产厂家的典型产品资料，并插入了必要的图片。

本书可供液压系统的设计、制造和使用维护技术人员、现场工作人员参阅，也可作为高等院校的教学、课程设计和毕业设计等实践教学环节的参考书。

本书由辽宁石油化工大学牛海山、浦艳敏、王春蓉等编著。其中第1、2、3章由浦艳敏编写，第4、5章由牛海山编写，第6、7章由王春蓉编写，第8、9章由高晶晶编写。另外，杨伟、冷冬、孙玲、李晓红、胡金玲、董壮生、刘勇刚、王红宇、赵丹杨、赵伟、宋然、王军、孙喜冬、叶丽霞、张丽红、张娇、高霞、郭丽莉、张景丽、郭庆梁、龚雪、郭玲等同志为本书的编写提供了帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，编写中难免有疏漏和欠妥之处，恳切希望使用本书的广大师生、读者多提宝贵意见，以求改进。

编者

目录

C O N T E N T S

第 1 章 绪论

1.1 液压传动的工作原理和基本特征	1
1.1.1 液压传动的工作原理	1
1.1.2 液压传动的基本特征	3
1.2 液压传动系统的组成及图形符号	4
1.2.1 液压系统的组成	4
1.2.2 液压传动系统图形符号	4
1.2.3 液压传动的应用领域	4
1.3 液压技术发展	6
1.3.1 液压传动技术的历史	6
1.3.2 液压技术的发展趋势	7

第 2 章 液压油的选用与污染防治

2.1 液压油的物理性质	9
2.1.1 密度	9
2.1.2 可压缩性	9
2.1.3 黏性	10
2.2 液压油的分类与选用	13
2.2.1 液压油的分类	13
2.2.2 几种常见的液压油	14
2.2.3 对液压油的要求	14
2.2.4 使用液压油的注意事项和鉴别液压油品种的简易方法	15
2.2.5 液压油的选用	16
2.3 液压油的污染控制	20
2.3.1 油液污染对液压系统的危害	20
2.3.2 污物的测定方法	22
2.3.3 污染度的等级	23
2.3.4 几种污染度等级标准的对应关系	25
2.3.5 液压油液品质的判定	25
2.3.6 液压油液的污染控制	26
2.4 液压油的使用与维护	26

2.4.1	液压油的存放	26
2.4.2	液压油的使用与维护	27

第3章 液压动力元件及选用

3.1	液压泵概述	29
3.1.1	液压泵的分类	29
3.1.2	工作原理	30
3.1.3	液压泵的图形符号	30
3.1.4	液压泵的主要性能参数及计算公式	30
3.1.5	液压泵的使用	32
3.2	齿轮泵	33
3.2.1	齿轮泵的分类	34
3.2.2	外啮合齿轮泵	34
3.2.3	内啮合齿轮泵	39
3.2.4	齿轮泵的选用原则和使用	39
3.3	叶片泵	41
3.3.1	分类及特点	41
3.3.2	工作原理	42
3.3.3	典型结构	47
3.3.4	叶片泵的选用原则和使用	47
3.4	柱塞泵	48
3.4.1	柱塞泵的分类、特点	49
3.4.2	工作原理	49
3.4.3	斜盘式轴向柱塞泵	50
3.4.4	斜轴式轴向柱塞泵	52
3.4.5	径向柱塞泵	53
3.5	液压泵的选用	54
3.5.1	液压泵的选用原则	54
3.5.2	液压泵的选择计算	55

第4章 液压执行元件及选用

4.1	液压马达	57
4.1.1	液压马达的分类	57
4.1.2	液压马达的工作原理	58
4.1.3	液压马达的主要技术参数和计算公式	58
4.1.4	齿轮马达	59
4.1.5	叶片马达	65
4.1.6	柱塞马达	68
4.1.7	摆线马达	78
4.1.8	液压马达的选用	81

4.2 液压缸	84
4.2.1 概述.....	84
4.2.2 液压缸的工作原理和典型结构.....	90
4.2.3 液压缸的产品介绍.....	92
4.2.4 液压缸的选用.....	97

第5章 方向控制阀及选用

5.1 单向阀	99
5.1.1 普通单向阀.....	99
5.1.2 液控单向阀.....	101
5.2 换向阀	107
5.2.1 滑阀式换向阀.....	107
5.2.2 电磁换向阀.....	113
5.2.3 液动换向阀和电液换向阀.....	125
5.2.4 手动换向阀.....	134
5.2.5 机动换向阀.....	136
5.2.6 电磁球阀.....	138
5.3 方向控制阀的选用	140
5.4 方向控制阀的产品介绍	140
5.4.1 单向阀.....	140
5.4.2 电磁换向阀.....	142
5.4.3 液动换向阀.....	143
5.4.4 电液换向阀.....	143
5.4.5 机动换向阀.....	145
5.4.6 手动换向阀.....	146

第6章 压力控制阀及选用

6.1 溢流阀	147
6.1.1 溢流阀的工作原理和结构.....	147
6.1.2 溢流阀的特性.....	151
6.1.3 溢流阀的功用.....	155
6.1.4 溢流阀的常见故障与排除.....	156
6.2 电磁溢流阀	156
6.2.1 种类和功能.....	156
6.2.2 性能.....	157
6.3 卸荷溢流阀	158
6.3.1 工作原理和功用.....	158
6.3.2 性能.....	158
6.4 减压阀	159
6.4.1 减压阀的功能和性能要求.....	159

6.4.2	减压阀的工作原理和结构	160
6.4.3	减压阀的性能	163
6.4.4	减压阀的作用	164
6.4.5	减压阀的常见故障与排除	164
6.5	溢流减压阀	164
6.6	顺序阀	165
6.7	平衡阀	169
6.8	压力继电器	170
6.9	压力阀的选用和调节	173
6.10	压力控制阀的产品介绍	174
6.10.1	常用直动型溢流阀	174
6.10.2	常用先导型溢流阀	176
6.10.3	常用减压阀	180
6.10.4	常用顺序阀	182
6.10.5	常用平衡阀	184
6.10.6	常用压力继电器	186

第7章 流量控制阀及选用

7.1	概述	189
7.2	节流阀	189
7.3	调速阀	196
7.3.1	调速阀的工作原理	196
7.3.2	调速阀的流量特性和性能改善	198
7.3.3	调速阀的典型结构和特点	199
7.3.4	调速阀的应用和故障排除	200
7.4	分流集流阀	203
7.5	流量阀的选用	204
7.6	流量控制阀产品介绍	205
7.6.1	常用节流阀	205
7.6.2	常用调速阀	207
7.6.3	常用分流集流阀	208

第8章 其他液压阀及选用

8.1	插装阀	209
8.1.1	插装阀的结构和工作原理	210
8.1.2	盖板式二通插装阀	214
8.1.3	螺纹插装阀	221
8.2	叠加阀	228
8.2.1	单功能叠加阀	228
8.2.2	复合功能叠加阀	229

8.2.3	叠加阀的典型结构	230
8.2.4	叠加阀液压系统	231
8.3	电液比例阀	233
8.3.1	比例电磁铁	235
8.3.2	电液比例压力阀	236
8.3.3	电液比例流量阀	240
8.3.4	电液比例方向阀	243
8.3.5	电液比例阀的选择	246
8.4	电液伺服阀	248
8.4.1	电液伺服阀的组成和分类	248
8.4.2	液压放大器	248
8.4.3	电液伺服阀的典型结构与工作原理	252
8.4.4	电液伺服阀的选择	260
8.5	电液数字阀	262
8.5.1	电液数字阀的工作原理	263
8.5.2	电液数字阀的典型结构	264
8.6	其他专用液压阀	269
8.6.1	多路换向阀	269
8.6.2	平衡阀	270
8.6.3	双向液压锁	272
8.6.4	电磁球阀	273

第9章 液压辅助元件及选用

9.1	油箱	275
9.1.1	油箱的容量	275
9.1.2	油箱的结构特点	277
9.2	滤油器	279
9.2.1	过滤精度	280
9.2.2	滤油器的典型结构	280
9.2.3	滤油器的安装位置	282
9.2.4	滤油器的选择	282
9.3	管件及管接头	282
9.3.1	油管	283
9.3.2	管接头	283
9.4	密封装置	287
9.4.1	密封装置的类型	287
9.4.2	常用密封元件的结构和特点	287
9.5	蓄能器	300
9.5.1	蓄能器的分类与结构	300
9.5.2	蓄能器的功用	301

9.6 热交换器	302
9.6.1 冷却器	302
9.6.2 加热器	306
9.7 压力表及压力表开关	306
9.7.1 压力表	306
9.7.2 压力表开关	307

参考文献

参考文献及附录目录

.....	附录 1.4
.....	附录 1.5
.....	附录 1.6
.....	附录 1.7
.....	附录 1.8
.....	附录 1.9
.....	附录 1.10
.....	附录 1.11
.....	附录 1.12
.....	附录 1.13
.....	附录 1.14
.....	附录 1.15
.....	附录 1.16
.....	附录 1.17
.....	附录 1.18
.....	附录 1.19
.....	附录 1.20
.....	附录 1.21
.....	附录 1.22
.....	附录 1.23
.....	附录 1.24
.....	附录 1.25
.....	附录 1.26
.....	附录 1.27
.....	附录 1.28
.....	附录 1.29
.....	附录 1.30
.....	附录 1.31
.....	附录 1.32
.....	附录 1.33
.....	附录 1.34
.....	附录 1.35
.....	附录 1.36
.....	附录 1.37
.....	附录 1.38
.....	附录 1.39
.....	附录 1.40
.....	附录 1.41
.....	附录 1.42
.....	附录 1.43
.....	附录 1.44
.....	附录 1.45
.....	附录 1.46
.....	附录 1.47
.....	附录 1.48
.....	附录 1.49
.....	附录 1.50
.....	附录 1.51
.....	附录 1.52
.....	附录 1.53
.....	附录 1.54
.....	附录 1.55
.....	附录 1.56
.....	附录 1.57
.....	附录 1.58
.....	附录 1.59
.....	附录 1.60
.....	附录 1.61
.....	附录 1.62
.....	附录 1.63
.....	附录 1.64
.....	附录 1.65
.....	附录 1.66
.....	附录 1.67
.....	附录 1.68
.....	附录 1.69
.....	附录 1.70
.....	附录 1.71
.....	附录 1.72
.....	附录 1.73
.....	附录 1.74
.....	附录 1.75
.....	附录 1.76
.....	附录 1.77
.....	附录 1.78
.....	附录 1.79
.....	附录 1.80
.....	附录 1.81
.....	附录 1.82
.....	附录 1.83
.....	附录 1.84
.....	附录 1.85
.....	附录 1.86
.....	附录 1.87
.....	附录 1.88
.....	附录 1.89
.....	附录 1.90
.....	附录 1.91
.....	附录 1.92
.....	附录 1.93
.....	附录 1.94
.....	附录 1.95
.....	附录 1.96
.....	附录 1.97
.....	附录 1.98
.....	附录 1.99
.....	附录 2.00

绪论

液压传动技术早在 18 世纪末就已开始应用, 1795 年英国制成第一台水压机, 至今已有 200 多年的历史。液压传动技术的研究被各国普遍重视目前已广泛应用在机械制造、工程建设、交通运输、矿山、冶金、航空、航海、军事、轻工、农机等工业部门, 也被应用到宇宙航行、海洋开发、预测地震等方面。在机床行业中, 液压传动的应用更为普遍, 如应用在磨床、车床、拉床、刨床、镗床、锻压机床、组合机床、数控机床、仿形机床、单机自动化、机械手和自动线等机械加工设备中。

1.1

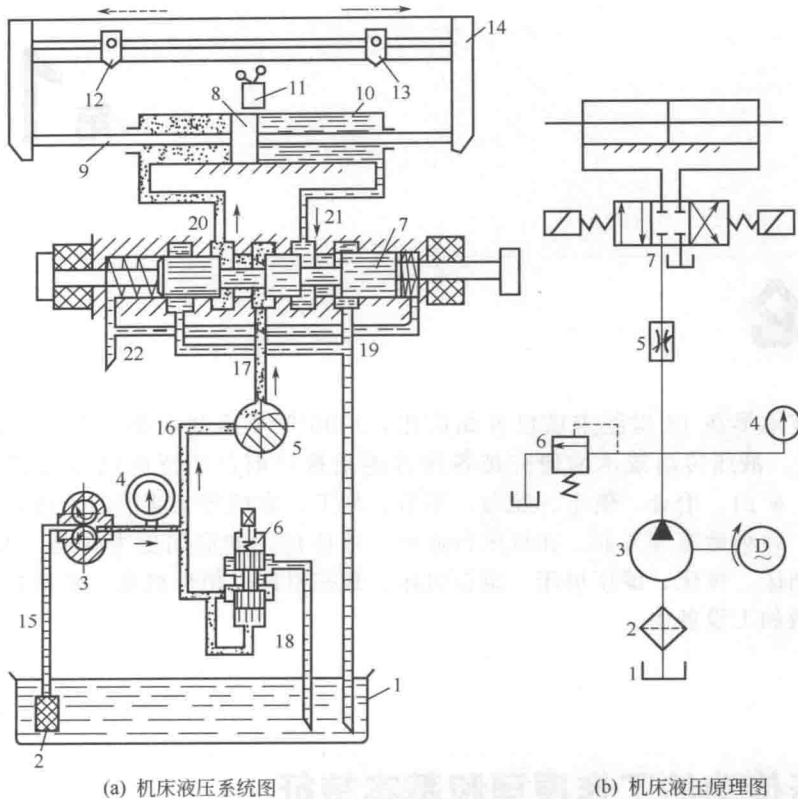
液压传动的工作原理和基本特征

1.1.1 液压传动的工作原理

液压传动在机床上应用很广, 具体的结构也比较复杂。下面介绍一个简化了的机床液压传动系统, 用以概括地说明液压传动的工作原理。

图 1-1 所示为简化了的机床工作台往复送进的液压系统图。液压缸 10 固定不动, 活塞 8 连同活塞杆 9 带动工作台 14 可以做向左或向右的往复运动。图中所示为电磁换向阀 7 的左端电磁铁通电而右端的电磁铁断电状态, 将阀芯推向右端。液压泵 3 由电动机带动旋转, 通过其内部的密封腔容积变化, 将油液从油箱 1 中, 经滤油器 2、油管 15 吸入, 并经油管 16、节流阀 5、油管 17、电磁换向阀 7、油管 20, 压入液压缸 10 的左腔, 迫使液压缸左腔容积不断增大, 推动活塞及活塞杆连同工作台向右移动。液压缸右腔的回油, 经油管 21、电磁换向阀 7, 油管 19 排回油箱。当撞块 12 碰上行程开关 11 时, 电磁换向阀 7 左端的电磁铁断电而右端的电磁铁通电, 便将阀芯推向左端。这时, 从油管 17 输来的压力油经电磁换向阀 7, 由油管 21 进入液压缸的右腔, 使活塞及活塞杆连同工作台向左移动。液压缸左腔的回油, 经油管 20、电磁换向阀 7、油管 19 排回油箱。电磁换向阀的左、右端电磁铁交替通电, 活塞及活塞杆连同工作台便循环往复左、右移动。当电磁换向阀 7 的左、右端电磁铁都断电时, 阀芯在两端的弹簧作用下, 处于中间位置。这时, 液压缸的左腔、右腔、进油路及回油路之间均不相通, 活塞及活塞杆连同工作台便停止不动。由此可见, 电磁换向阀是控制油液流动方向的。

调节节流阀 5 的开口大小, 可控制进入液压缸的油液流量, 改变活塞及活塞杆连同工作台移动的速度。



(a) 机床液压系统图

(b) 机床液压原理图

图 1-1 简化的机床液压系统图

- 1—油箱；2—滤油器；3—液压泵；4—压力表；5—节流阀；6—溢流阀；7—电磁换向阀；
8—活塞；9—活塞杆；10—液压缸；11—行程开关；
12,13—撞块；14—工作台；15~22—油管

在进油路上安装溢流阀 6，且与液压泵旁路连接。液压泵的输出压力，可从压力表 4 中读出。当油液的压力升高到稍超过溢流阀的调定压力时，溢流阀开启，油液经油管 18 排回油箱，这时油液的压力不再升高，稳定在调定的压力值范围内。溢流阀在稳定系统压力和防止系统过载的同时，还起着把液压泵输出的多余油液排回油箱的作用。

电磁换向阀 7 的阀芯两端弹簧腔泄漏油，通过油管 22（泄漏口）排回油箱。

在图 1-1 所示液压系统中，所采用的液压泵为定量泵，即在单位时间内所输出压力油的体积（称为流量）为定值。定量泵所输出的压力油，除供给系统工作所需外，多余的油液由溢流阀排回油箱，能量损耗就增大。为了节约能源，可以采用在单位时间内所输出的流量根据系统工作所需而调节的变量泵。如果机床液压系统的工作是旋转运动，则可以将液压缸改用液压马达。

通过上述例子可以看到：

① 液压传动是以有压力的油液作为传递动力的介质，液压泵把电动机供给的机械能转换成油液的液压能，油液输入液压缸后，又通过液压缸把油液的液压能转变成驱动工作台运动的机械能。

② 在液压泵中，电动机旋转运动的机械能是依靠密封容积的变化转变为液压能，即输出具有一定压力与流量的液压油。在液压缸中，也是依靠其密封容积的变化，把输入的液压能转换为活塞直线往复运动的机械能。这种依靠密封容积变化来实现能量转换与传递的传动方式称

为液压传动。它与主要依靠液体的动能来传递动力的“液力传动”（例如水轮机、离心泵、液力变矩器等）不同，后者在机床上用得极少。液压传动与液力传动，都是液体传动。

③ 工作台运动时所能克服的阻力大小与油液的压力和活塞的有效工作面积有关，工作台运动的速度决定于在单位时间内通过节流阀流入液压缸中油液体积的多少。

④ 在液压传动系统中，控制液压执行元件（液压缸或液压马达）的运动（速度、方向和驱动负载能力）是通过控制与调节油液的压力、流量及液流方向来实现的，即液流是处在液压控制的状态下进行工作的，因此液压传动与液压控制是不可分割的。然而通常所谓的液压控制系统是指具有液动力机构的反馈控制系统。

1.1.2 液压传动的基本特征

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等运动。

液压传动的基本特征如下。

(1) 力的传递

如图 1-1 所示，设大活塞面积为 A_2 ，作用其上的负载力为 F_2 ，该力在大缸中所产生的液体压力为 $p_2 = F_2/A_2$ 。根据帕斯卡原理，小缸的油压 p_1 等于大缸中的液体压力 p_2 ，即 $p_1 = p_2 = p$ 。由此可得

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2} = p \quad \text{或} \quad F_1 = F_2 \frac{A_1}{A_2} \quad (1-1)$$

式中 F_1 ——小活塞上的作用力；

A_1 ——小活塞面积。

在 A_1 、 A_2 一定时，负载力 F_2 越大，系统中的压力 p 也越大，所需要的作用力 F_1 也就越大，即系统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，即液压传动中工作压力取决于外负载（包括外力和液阻力）。

(2) 运动的传递

如图 1-2 所示，如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、管路的变形等，小缸排出的液体体积必然等于进入大缸的液体体积。设小活塞位移为 s_1 ，大活塞位移为 s_2 ，则有

$$s_1 A_1 = s_2 A_2 \quad (1-2)$$

上式两边同除以运动时间 t ，得

$$q_1 = v_1 A_1 = v_2 A_2 = q_2 = q \quad (1-3)$$

式中 v_1 、 v_2 ——小缸活塞、大缸活塞的平均运动速度；

q_1 、 q_2 ——小缸排出液体的平均流量、进入大缸液体的平均流量。

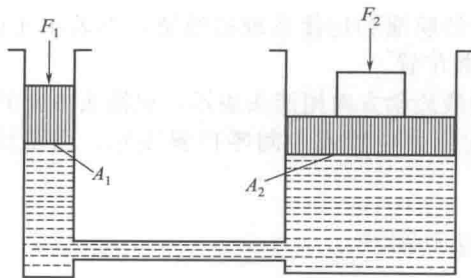


图 1-2 液压传动简化模型

由上所述可见，液压传动是靠密闭腔工作容积变化相等的原理实现运动（速度和位移）的传递。调节进入大缸的流量 q_2 ，即可调节其活塞的运动速度 v_2 ，这是液压传动工作原理的第二个特征，即活塞的运动速度取决于输入流量的大小。

1.2

液压传动系统的组成及图形符号

1.2.1 液压系统的组成

从分析机床液压系统可以看出，液压传动系统均由以下四个部分所组成。

(1) 动力元件（液压泵）

液压泵的作用是向液压系统提供压力油，是动力的来源。它是将原动机（电动机）输出的机械能转变为油液液压能的能量转换元件。

(2) 执行元件（液压缸或液压马达）

它的作用是在压力油的推动下，完成对外做功，驱动工作部件。它是将油液的液压能转变为机械能的能量转换元件。

(3) 控制元件

控制元件主要包括溢流阀（压力阀）、节流阀（流量阀）及换向阀（方向阀）等，它们的作用是分别控制液压系统油液的压力、流量及液流方向，以满足执行元件对力、速度和运动方向的要求。

(4) 辅助元件

辅助元件主要包括油箱、油管、管接头、滤油器、蓄能器、压力表等，分别起储油、输油、连接、过滤、储存压力能、测压等作用，是液压系统中不可缺少的重要组成部分。但从液压系统的工作原理来看，它们是起辅助作用的。

1.2.2 液压传动系统图形符号

图 1-1(b) 为一种半结构式液压系统的工作原理图，它有直观性强、容易理解的优点，当液压系统发生故障时，根据原理图检查十分方便，但图形比较复杂，绘制比较麻烦。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各元件和连接管路的国家标准，即《流体传动系统及元件图形符号和回路图 第 1 部分：用于常规用途和数据处理的图形符号》（参看 GB/T 786.1—2009）。图 1-1(b) 为图 1-1(a) 系统用此标准绘制的工作原理图。使用这些图形符号可使液压系统图简单明了，且便于绘图。对这些图形符号有以下几条基本规定。

① 图形符号只表示元件的职能和连接系统的通路，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 元件图形符号内的油液流动方向用箭头表示，但箭头方向并不表示实际流动方向。

③ 图形符号均以元件的原始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。

1.2.3 液压传动的应用领域

液压技术与现代社会中人们的日常生活、工农业生产、科学研究活动正产生着日益密切的

关系,已成为现代机械设备和装置中的基本技术构成、现代控制工程的基本技术要素和工业及国防自动化的重要手段,并在国民经济各行业以及几乎所有技术领域中日益广泛应用,应用液压技术的程度已成为衡量一个国家工业化水平的重要标志。表 1-1 列举了近年来液压传动技术与控制技术的应用领域。

表 1-1 现代液压技术的应用领域及举例

应用领域	采用液压技术的机器设备和装置
机械制造及汽车工业	铸造机械(铸造生产线振实台、离心铸造机等);金属成形设备(液压机、折弯机、剪切机、带轮辊轧机、铜铝屑压块机);焊接设备(焊条压涂机、自动缝焊机、摩擦焊接剂等);热处理设备(各类淬火机及上下料机械手、淬火炉工件传动机等);金属切削机床(自动车床、组合铣床、仿形刨床、平面及外圆磨床、数控刃磨机床、深孔钻床、金刚镗床、拉床、深孔研磨机床、带锯机床、冲床等);汽车摩托车制造设备(轿车座椅泡沫生产线、汽车带轮旋压机、发动机气缸体加工机床、摩托车车轮压窝冲孔机、发动机连杆销压装机、汽车大梁生产线铆接机、无内胎铝合金车轮气密性检测机、汽车零部件试验台)
家用电器与五金制造	家电行业(显像管玻壳剪切机、电冰箱压缩机、电机转子叠片机、冰箱箱体折弯机、电冰箱内胆热成形机、制冷热交换器、U形管自动成形机等);五金行业(制钉机、工具锤装柄机、门锁整体成形压机等)
计量质检装置、特种设备及公共设施	计量与产品质量检验设备(标准动态力源装置、万能试验机、商品出入境检验试验机、墙体砖及砌块试验机、木材力学试验机等各种产品质量检验设备);特种设备(液压电梯、纯水灭火机等);公共设施(循环式客运索道、广播电视塔天线桅杆提升装置、大型剧院升降舞台、各类游艺机、自动捆钞机、磁卡层压机、医用牵引床、X射线机隔室透视站等);环保设备(垃圾压缩机、垃圾破碎机 and 压榨机、污泥自卸车等)
能源与冶金工业	电力行业(电站锅炉、火电厂大型烟囱顶升设备、变压器绝缘纸板热压成形机组、高压输电线间隔棒振摆试验机、电力导线压接钳等);煤炭工业(煤矿液压支架、煤矿多绳绞车、卸煤生产线定位机车等);石油天然气探采机械(海洋石油钻井平台、石油钻机、各类抽油机及修井机、绞车、输油管道阀门启闭装置、捞油车、油田管杆矫直机及管线试压装置等);冶炼轧制设备(高炉液压泥炮、冶炼电炉、轧机及板坯连铸机、热浸镀模拟试验机);冶金产品整理(高速线材打捆机、卷材小车、带材导向器、钢管锯机及平头倒棱机、打号机、铝型材连续挤压生产线等);冶金企业环保设备(钢厂废水处理自动压滤机)
轻工、纺织及化工机械	轻工机械(表壳热冲压成形机、煮糖罐搅拌机、蔗糖生产用自动板框式压滤机、皮革熨平机、原木屑片输送机、人造板压热机、弯曲木家具多向压机、纸张复卷机、植物纤维餐具成形机、竹制菜盘成形机、骨肉分割机等);纺织机械(纺丝机、印花机、冷压堆卷布机、毛呢罐蒸机、自动堆染机等);化工机械(注塑机、吹塑挤出机、橡胶平板硫化机、琼脂自动压榨机、催化剂高压挤条机、乳化炸药装药机、集装箱塑料颗粒倾斜机等)
铁路公路工程	铁路工程施工设备(铺轨机、路基渣石机、边坡整形机、钢轨电极接触面磨光机、铁道轮对轴承压装机等);公路工程及运输(高速公路钢护栏冲孔切断机、隧道工程衬砌台车、汽车维修举升机、地下汽车库升降平台、公交汽车、汽车刹车皮铆钉机、架桥机等)
航空航天工程、河海工程及武器装备	航空航天工程(大型客车、飞机机轮轴承清洗补油装置、飞机包伞机、飞机场地面设备、飞机起落架收放试验车、卫星发射设备等);河海工程(河流穿越设备、水槽不规则造波机、舵机、深潜救生艇对接机械手、水下机器人及钻孔机、船舰模拟平台、波浪补偿起重机等);武装设备(炮塔俯仰装置、地空导弹发射装置、枪管旋压机等)
建材、建筑、工程机械及农林牧机械	建材行业(卫生瓷高压注浆成形机、石材肥料模压成形机及石材连续磨机、墙地砖压机等);建筑行业(钢筋弯箍机及自动校直切断机、混凝土泵、液压锤、自动打桩机等);工程机械(沥青道路修补机、重型多轴挂车、冲击压路机、越野起重机、起重高空作业车、公路养护车);农林牧机械(联合收割机、拖拉机、玉米及谷物收割机、饲草打包机、饲料压块机等)

1.3

液压技术发展

1.3.1 液压传动技术的历史

液压技术的发展是与流体力学、材料学、机构学、机械制造等相关基础学科的发展紧密相关的。

对流体力学学科的形成最早作出贡献的是古希腊人阿基米德 (Archimedes)。1648 年, 法国人帕斯卡 (B. Pascal) 提出静止液体中压力传递的基本定律, 奠定了液体静力学基础。

17 世纪, 力学奠基人牛顿 (Newton) 研究了在流体中运动的物体所受到的阻力, 针对黏性流体运动时的内摩擦力提出了牛顿黏性定律。

1738 年, 瑞士人伯努利 (D. Bernoulli) 从经典力学的能量守恒出发, 研究供水管道中水的流动, 通过试验分析, 得到了流体定常运动下的流速、压力与流道高度之间的关系——伯努利方程。

欧拉 (L. Euler) 方程和伯努利方程的建立, 是流体动力学作为一个分支学科建立的标志, 从此开始了用微分方程和试验测量进行流体运动定量研究的阶段。

1827 年, 法国人纳维 (C. L. M. Navier) 建立了黏性流体的基本运动方程; 1845 年, 英国人斯托克斯 (G. G. Stokes) 又以更合理的方法导出了这组方程, 这就是沿用至今的 N-S 方程, 它是流体动力学的理论基础。

1883 年, 英国人雷诺 (O. Reynolds) 发现液体具有两种不同的流动状态——层流和湍流, 并建立了湍流基本方程——雷诺方程。

自 16 世纪到 19 世纪, 欧洲人对流体力学、近代摩擦学、机构学和机械制造等学科所作出的一系列贡献, 为 20 世纪液压传动的发展奠定了科学与工艺基础。

在帕斯卡提出静压传送原理以后 147 年, 英国人布拉默 (J. J. Bramah) 于 1795 年登记了第一项关于液压机的英国专利。两年后, 他制成了由手动泵供压的水压机。到了 1826 年, 水压机已被广泛应用, 成为继蒸汽机以外应用最普遍的机械。此后, 还发展了许多水压传动控制回路, 并且采用机能符号取代具体的结构和设计, 方便了液压技术的进一步发展。

值得提出的是, 1905 年, 美国人詹尼 (Jenney) 首先将矿物油引入液压传动中, 将其作为工作介质, 并设计制造了第一台油压轴向柱塞泵及其驱动的油压传动装置, 并于 1906 年应用于军舰的炮塔装置上, 揭开了现代油压技术发展的序幕。

汽车工业的发展及第二次世界大战中大规模的武器生产, 促进了机械制造工业标准化、模块化概念和技术的形成与发展。1936 年, 美国人威克斯 (Harry Vickers) 发明了以先导控制压力阀为标志的管式系列液压控制元件, 20 世纪 60 年代出现了板式及叠加式液压元件系列, 70 年代出现了插装式液压元件系列, 从而逐步形成了以标准化功能控制单元为特征的模块化集成单元技术。

20 世纪, 控制理论及其工程实践得到了飞速发展, 为电液控制工程的进步提供了理论基础和技术支持。

电液伺服机构首先被应用于飞机、火炮液压控制系统, 后来也被用于机床及仿真装置等同步驱动中。在 20 世纪 60 年代后期, 发展了采用比例电磁铁作为电液转换装置的比例控制元件, 其鲁棒性更好, 价格更低廉, 对油质也无特殊要求。此后, 比例阀被广泛用于工业控制。

在 20 世纪, 液压技术的应用领域不断得到拓展。从组合机床、注射成形设备、机械手、自动加工及装配线到金属和非金属压延, 从材料及构件强度试验机到电液仿真试验平台, 从建筑、工程机械到农业、环保设备, 从能源机械调速控制到热力与化工设备过程控制, 从橡胶、皮革、造纸机械到建筑材料生产自动线, 从家用电器、电子信息产品自动生产线到印刷、包装及办公自动化设备, 从食品加工、医疗监护系统到休闲及体育训练机械, 从采煤机械到石油钻探及采收设备, 从航空航天器到船舶、火车及家用小汽车等, 液压传动与控制已成为现代机械工程的基本要素和工程控制的关键技术之一。

1.3.2 液压技术的发展趋势

液压技术是实现现代化传动与控制的关键技术之一, 世界各国对液压工业的发展都给予了很大的关注。据 2008 年统计, 世界液压元件的总销售额为 400 亿美元。世界各主要发达国家液压工业销售额占机械工业产值的 2%~3.5%, 而我国只占 1% 左右, 这充分说明我国液压技术使用率较低, 努力扩大其应用领域将有广阔的发展前景。

液压技术具有独特的优点, 如液压技术具有功率重量比大, 体积小, 频响高, 压力、流量可控性好, 可柔性传送动力, 易实现直线运动等优点; 气动传动具有节能、无污染、低成本、安全可靠、结构简单等优点, 并易与微电子、电气技术相结合, 形成自动控制系统。显然, 液压技术广泛应用于国民经济各部门。但是近年来, 液压气动技术面临与机械传动和电气传动的竞争, 如数控机床、中小型塑机已采用电控伺服系统取代或部分取代液压传动。其主要原因是液压技术存在渗漏、维护性差等缺点。为此, 必须努力发挥液压气动技术的优点, 克服缺点, 注意和电子技术相结合, 不断扩大其应用领域, 同时降低能耗、提高效率、适应环保需求、提高可靠性, 这些都是液压技术继续努力的目标, 也是液压产品参与市场竞争能否取胜的关键。

由于液压技术广泛应用了高科技成果, 如自控技术、计算机技术、微电子技术、可靠性及新工艺新材料等, 因此使传统技术有了新的发展, 也使产品的质量、水平有了一定的提高。尽管如此, 目前的液压技术不可能有惊人的技术突破, 应当主要靠现有技术的改进和扩展, 不断扩大其应用领域, 以满足未来的要求。其主要的发展趋势将集中在以下几个方面。

(1) 液压节能技术

液压技术在将机械能转换成压力能及反转换过程中总存在能量损耗。为减小能量的损失, 必须解决下面几个问题: 减少元件和减小系统的内部压力损失, 以减小功率损失; 减小或消除系统的节流损失, 尽量减少非安全需要的溢流量; 采用静压技术和新型密封材料, 减小摩擦损失; 改善液压系统性能, 采用负荷传感系统、二次调节系统和蓄能器回路。

(2) 泄漏控制技术

泄漏控制包括防止液体泄漏到外部造成环境污染和外部环境对系统的侵害两个方面。今后将发展无泄漏元件和系统, 如发展集成化和复合化的元件和系统, 实现无管连接, 研制新型密封和无泄漏管接头、电机油泵组合装置等。无泄漏将是世界液压界今后努力的重要方向之一。

(3) 污染控制技术

过去, 液压界主要致力于控制固体颗粒的污染, 而对水、空气等的污染控制往往不够重视。今后应重视解决以下问题: 严格控制产品生产过程中的污染, 发展封闭式系统, 防止外部污染物侵入系统; 应改进元件和系统设计, 使之具有更大的耐污染能力。同时应开发耐污染能力强的高效滤材和过滤器, 如研究对污染的在线测量; 开发油水分离净化装置和排湿元件, 以及开发能清除油中的气体、水分、化学物质和微生物的过滤元件及检测装置。

(4) 主动维护技术

开展液压系统的故障预测, 实现主动维护技术。必须使液压系统故障诊断现代化, 加强专家系统的开发研究, 建立完整的、具有学习功能的专家知识库, 并利用计算机和知识库中的知