

· 高职高专“十二五”规划教材 ·



液压与气动技术

YEYA YU QIDONG JISHU

主 编 毕长飞 主 审 崔作兴

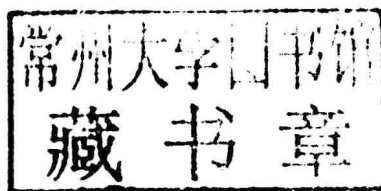


冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

高职高专“十二五”规划教材

液压与气动技术

主 编 毕长飞
副主编 王 俊 房连琨
崔鹏宇 韩淑敏
主 审 崔作兴



北 京
冶金工业出版社
2011

内 容 提 要

本书是根据国家教育部对高职教育的基本要求,结合近年来高职高专院校的实际编写。

本书共分为15章,第1章~第10章为液压部分,第11章~第14章为气压部分,第15章为实验实训部分。

“液压与气动技术”是一门实践性较强的课程,通过本书的理论和实验,可培养学生分析问题和解决问题及工程实践能力,为其今后从事液压系统设计、液压系统使用及维修等方面的工作打下坚实的基础。

本书适合高职院校机械类、机电类、自动化类等专业的学生学习,也适合各类成人教育、自学考试等有关机械类、自动化类专业的学生学习,也可供从事流体传动与控制工作的技术人员参考。

207003

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术/毕长飞主编. —北京:冶金工业出版社,
2011.8

高职高专“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5024-5701-3

I. ①液… II. ①毕… III. ①液压传动—高等职业教育—教材 ②气压传动—高等职业教育—教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第166932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 yjcb@cnmip.com.cn

责任编辑 李 雪 李培禄 美术编辑 李 新 版式设计 葛新霞

责任校对 王贺兰 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-5701-3

北京兴华印刷厂印刷;冶金工业出版社发行;各地新华书店经销

2011年8月第1版,2011年8月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;16.75印张;402千字;252页

36.00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(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

前 言

“液压与气动技术”是机电类专业开设的一门重要的技术基础课程,课程内容涉及液压传动与气压传动两大部分,本书以液压传动为主线。

本书是根据国家教育部对高职教育的基本要求,结合近年来高职高专院校的实际情况编写的,适合高职院校机械类、机电类、自动化类等专业的学生学习,也适合各类成人高校,自学考试等有关机械类、自动化类专业的学生学习,也可供从事流体传动与控制工作的技术人员参考。

本书是根据高职高专“液压与气动技术”教学大纲的要求,按照“理论以必需够用为度,突出重点”的原则来选择编写内容的。

本书的特点如下:

(1) 本书的编写力求“突出高职特色,本着强调基础,突出应用,力求创新”的总体思路,减少与培养目标关系不大的内容,并且列举了一些贴近工程实际的案例。

(2) 液压与气动两部分既联系又相互独立,各专业的学生可根据专业情况选取相关内容学习。

(3) 本书着重分析各类元件的结构和工作原理以及常见故障的排除方法,有针对性地对典型液压系统的工作原理及特点进行详细的阐述。

(4) 教材中的插图规范、清晰。

(5) 为了指导学生的学习,每章的开篇都列出了本章的重点和难点;为了方便学生复习巩固学习内容,各章均附有思考练习题。

(6) 液压与气动的图形符号严格执行了国家标准(GB/T 786.1—1993)。

(7) 本教材为了指导学生实训,还专门设置了一章介绍实验实训知识。

本书由辽宁地质工程职业学院毕长飞担任主编,由王俊、房连琨、崔鹏宇和韩淑敏担任副主编。毕长飞编写了第1、7、9、10、11、13和15章;王俊编写了第12和第14章;房连琨编写了第3、4、5、8章;崔鹏宇编写了第6章及附录部分;韩淑敏编写了第2章;黄娣、刘超、李福多、昆山同创有限公司李坤及安阳工学院的王红参加编写了部分章节的内容。全书由毕长飞负责组稿和定稿,辽宁地质工程职业学院崔作兴教授审阅了全书;同时还要

感谢机电系主任孙树东教授、机械教研室全体教师在本书的编写过程中提出了宝贵的意见与建议。

由于编者水平有限，书中会存在一些不妥之处，恳请各位读者在使用本书时提出宝贵的意见与建议，以便再次修订时有所改进。

毕长飞

2011年6月

目 录



第 1 章 液压与气压传动概述	1
1.1 液压与气压传动系统	1
1.1.1 液压与气压传动系统的工作原理	1
1.1.2 液压与气压传动系统的组成	3
1.1.3 液压与气压传动系统的职能符号	4
1.2 液压与气压传动的特点	4
1.2.1 液压传动的特点	4
1.2.2 气压传动的特点	5
1.3 液压与气压传动的应用与发展	6
1.3.1 液压与气压传动的应用	6
1.3.2 液压与气压传动的发展	6
思考练习题	7
第 2 章 液压传动的基础	8
2.1 液压油	8
2.1.1 液压油的物理性质	8
2.1.2 对液压油的基本要求	12
2.1.3 液压油的种类	13
2.1.4 液压油的选用	13
2.1.5 液压油的污染与控制	14
2.2 液体静力学基础	15
2.2.1 液体的压力	15
2.2.2 静止液体中的压力分布	16
2.2.3 压力的表示方法	16
2.2.4 静止液体内部压力的传递	17
2.2.5 液体对固体壁面的作用力	17
2.3 液体动力学基础	18
2.3.1 基本概念	18
2.3.2 连续性方程	20
2.3.3 伯努利方程	20
2.4 液体流经小孔和缝隙的流量	22
2.4.1 薄壁小孔的流量	22

2.4.2 小孔流量公式	23
2.5 液体在流动中的压力损失和流量损失	24
2.5.1 压力损失	24
2.5.2 流量损失	25
2.6 气穴现象、气蚀和液压冲击	25
2.6.1 气穴现象与气蚀	25
2.6.2 液压冲击	26
思考练习题	27
第3章 液压泵和液压马达	29
3.1 液压泵与液压马达	29
3.1.1 液压泵和液压马达的分类	29
3.1.2 液压泵与液压马达的工作原理	30
3.1.3 液压泵的主要性能参数	31
3.1.4 液压马达的主要性能参数	33
3.1.5 常用液压泵和液压马达的图形符号	34
3.2 齿轮泵与柱塞泵	34
3.2.1 齿轮泵	34
3.2.2 柱塞泵	37
3.3 叶片泵	41
3.3.1 双作用叶片泵	41
3.3.2 单作用叶片泵	43
3.3.3 限压式变量叶片泵	44
3.4 液压马达	46
3.4.1 齿轮马达	46
3.4.2 叶片式液压马达	47
3.4.3 摆动液压马达	48
3.5 液压泵与液压马达的选用及故障分析	48
3.5.1 液压泵的选用	48
3.5.2 液压马达的选用	49
3.5.3 液压泵的常见故障及其排除方法	49
3.5.4 液压马达的常见故障及其排除方法	51
思考练习题	52
第4章 液压缸	54
4.1 液压缸的类型、特点及其基本参数的计算	54
4.1.1 活塞式液压缸	54
4.1.2 柱塞式液压缸	57
4.1.3 其他形式的液压缸	57

4.2 液压缸的结构	60
4.2.1 缸筒与缸盖的连接	60
4.2.2 活塞与活塞杆的连接	61
4.2.3 缓冲装置	62
4.2.4 排气装置	63
4.3 密封装置	63
4.3.1 接触密封	64
4.3.2 间隙密封	66
4.4 液压缸的常见故障及其排除方法	66
思考练习题	67
第5章 液压辅助元件	69
5.1 管件	69
5.1.1 油管	69
5.1.2 管接头	71
5.2 蓄能器	72
5.2.1 蓄能器的功用	73
5.2.2 蓄能器的类型	74
5.2.3 蓄能器的安装及使用	74
5.3 过滤器	75
5.3.1 过滤器的性能参数和基本要求	75
5.3.2 过滤器的类型和结构特点	76
5.3.3 过滤器的安装	77
5.4 油箱	79
5.4.1 油箱的功用和种类	79
5.4.2 油箱容积的确定	79
5.4.3 油箱结构的设计	80
5.5 压力表与压力表开关	81
5.5.1 压力表	81
5.5.2 压力表开关	81
思考练习题	82
第6章 液压控制阀	83
6.1 液压控制阀概述	83
6.1.1 液压控制阀的基本结构和工作原理	83
6.1.2 液压控制阀的分类	84
6.1.3 液压控制阀的性能参数	84
6.1.4 选用液压控制阀的基本要求	84
6.2 方向控制阀	84

6.2.1 单向阀	84
6.2.2 换向阀	86
6.3 压力控制阀	95
6.3.1 溢流阀	95
6.3.2 减压阀	98
6.3.3 顺序阀	100
6.3.4 压力继电器	102
6.3.5 压力控制阀的性能比较和常见故障及其排除方法	103
6.4 流量控制阀	106
6.4.1 普通节流阀	106
6.4.2 流量控制阀的特性	106
6.4.3 调速阀	108
6.4.4 流量控制阀的常见故障及其排除方法	109
6.5 其他控制阀	110
6.5.1 比例阀	110
6.5.2 插装阀	112
思考练习题	116
第7章 液压基本回路	118
7.1 压力控制回路	118
7.1.1 调压回路	118
7.1.2 减压回路	119
7.1.3 卸荷回路	120
7.1.4 平衡回路	122
7.1.5 增压回路	123
7.1.6 保压回路	124
7.2 方向控制回路	125
7.2.1 换向回路	125
7.2.2 锁紧回路	126
7.2.3 制动回路	127
7.3 速度控制回路	127
7.3.1 调速回路	128
7.3.2 换速回路	131
7.4 多缸工作控制回路	133
7.4.1 顺序动作回路	133
7.4.2 同步回路	135
7.4.3 互不干扰回路	137
思考练习题	138

第 8 章 液压传动系统的应用及其故障分析	140
8.1 叉式装卸车液压系统	140
8.1.1 叉车的组成	140
8.1.2 叉车液压系统的工作原理	141
8.2 组合机床动力滑台液压传动系统	142
8.2.1 YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	142
8.2.2 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	144
8.3 压力机液压系统	144
8.3.1 YB32-200 型液压机液压系统的工作原理	145
8.3.2 YB32-200 型液压机液压系统的特点	148
8.4 数控车床液压传动系统	148
8.4.1 数控车床液压系统的工作原理	149
8.4.2 数控车床液压系统的特点	150
8.5 塑料注射成形机液压系统	150
8.5.1 塑料成形机的工作过程分析	150
8.5.2 注塑机液压系统的工作原理	150
8.5.3 注塑成形机液压系统的特点	154
8.6 液压系统故障排除与分析	154
8.6.1 液压系统的故障分析	154
8.6.2 液压系统常见故障分析及排除	156
思考练习题	158
第 9 章 液压系统的设计及实例	159
9.1 液压系统的设计	159
9.1.1 功能分析和需求设计	159
9.1.2 总体设计	160
9.1.3 草拟液压系统原理图	162
9.1.4 选择液压元件	163
9.1.5 验算液压系统的性能	164
9.2 液压系统设计实例	164
9.2.1 钻床的功能分析、需求设计	164
9.2.2 总体设计	165
9.2.3 拟定液压系统图	167
思考练习题	168
第 10 章 液压伺服系统	169
10.1 液压伺服系统概述	169
10.1.1 液压伺服系统的工作原理	169

10.1.2 液压伺服系统的分类	170
10.1.3 液压伺服系统的特点	170
10.2 液压伺服控制元件	171
10.2.1 滑阀	171
10.2.2 喷嘴挡板阀	172
10.2.3 射流管阀	173
10.2.4 电液伺服阀	174
10.3 液压伺服系统应用实例	175
10.3.1 机械手伸缩运动伺服系统	175
10.3.2 车床液压仿形刀架	176
思考练习题	177
第11章 气源装置及辅助元件	178
11.1 气源装置	178
11.1.1 气源装置的组成及布置	178
11.1.2 空气压缩机	179
11.2 空气净化装置	180
11.2.1 冷却器	180
11.2.2 储气罐	180
11.2.3 空气过滤器	180
11.2.4 空气干燥器	181
11.3 辅助元件	182
11.3.1 油雾器	182
11.3.2 气动三联件	184
11.3.3 消声器	184
11.4 气源装置主要元件的故障及其排除方法	185
思考练习题	186
第12章 气动控制元件	187
12.1 气动控制元件的结构特性	187
12.1.1 截止阀的结构及特性	187
12.1.2 滑阀式阀的结构及特性	189
12.2 方向控制阀	189
12.2.1 方向控制阀操纵方式	189
12.2.2 单向型方向控制阀	192
12.2.3 换向型方向控制阀	193
12.2.4 方向控制阀的故障及其排除方法	193
12.3 压力控制阀	194
12.3.1 安全阀	195

12.3.2 减压阀	195
12.3.3 顺序阀	197
12.3.4 压力控制阀的常见故障及其排除方法	198
12.4 流量控制阀	199
12.4.1 单向节流阀	199
12.4.2 排气节流阀	199
12.5 气动逻辑元件	200
12.5.1 “是”门元件	200
12.5.2 “或”门元件	201
12.5.3 “与”门元件	202
12.5.4 “非”门元件	203
12.5.5 双稳元件	204
思考练习题	205
第13章 气动执行元件	206
13.1 气动执行元件概述	206
13.1.1 气动执行元件的分类	206
13.1.2 气动执行元件的特点	207
13.1.3 气动执行元件的发展方向	207
13.2 气缸	207
13.2.1 普通气缸	207
13.2.2 几种特殊类型的气缸	208
13.2.3 气缸的选用	211
13.2.4 气缸的常见故障及其排除方法	212
13.3 气马达	212
13.3.1 气马达的工作原理	212
13.3.2 气马达的应用	213
思考练习题	213
第14章 气动基本回路及气动系统应用实例	214
14.1 气动基本回路	214
14.1.1 方向控制回路	214
14.1.2 压力控制回路	216
14.1.3 速度控制回路	218
14.2 常用回路	221
14.2.1 安全保护回路	221
14.2.2 冲压回路	222
14.2.3 同步控制回路	223
14.2.4 往复动作回路	224

14.2.5 防止下落回路	225
14.3 气动系统应用实例分析	225
14.3.1 气动夹紧系统	225
14.3.2 气液动力滑台气压传动系统	226
14.3.3 数控加工中心气动换刀系统	227
14.3.4 汽车车门的安全操作系统	228
14.3.5 气动机械手	228
思考练习题	230
第15章 液压与气动实训	232
实训一 齿轮泵(CB-B型)的拆装	232
实训二 液压控制阀的认识与拆装	234
实训三 液压回路的连接	236
实训四 气动回路的连接	239
附录 常用液压与气动元件图形符号	245
附表1 基本符号、管路及其连接	245
附表2 控制机构和控制方法	246
附表3 泵、马达和缸	247
附表4 控制元件	248
附表5 辅助元件	250
参考文献	252

第1章 液压与气压传动概述

【教学提示】 液压（气压）传动是以液体（压缩空气）作为工作介质，以液体（压缩空气）的压力能进行运动或动力传递的一种传动形式。它首先通过能量转换装置（如液压泵、空气压缩机）将原动机（电动机）的机械能转变为压力能，然后通过封闭管道、控制元件等，由另一能量转换装置（液压缸或气缸、液压马达或气动马达）将液体（气体）的压力能转变为机械能，驱动负载，使执行元件得到所需的动力来完成所需的运动。

【教学重点】

(1) 液压与气压传动的基本概念；

(2) 液压与气压传动的基本原理；

(3) 液压与气压传动系统的组成。

【教学难点】 液压与气压传动系统的职能符号图。

一般工程技术中使用的动力传递方式有：机械传动、电气传动、气压传动、液体传动以及由它们组合而成的复合传动。液压传动所用的工作介质为液压油或其他合成液体，气压传动所用的工作介质为空气。由于两种流体的性质不同，所以液压传动和气压传动各有其特点。液压传动传递的动力大，运动平稳；但由于液体的黏性大，在流动的过程中阻力损失大，因而不宜做远距离的传输与控制。气压传动由于空气的可压缩性大，且工作压力低（通常在1MPa以下），传递的动力不大，运动也不如液压平稳；但空气黏性小，传递过程中阻力小、速度快、反应灵敏，因而气压传动可用于远距离传送和控制。

1.1 液压与气压传动系统

1.1.1 液压与气压传动系统的工作原理

1.1.1.1 液压传动系统的工作原理

现以图1-1所示的液压千斤顶为例来说明液压传动系统的工作原理。

图1-1中大小两个液压缸1和6的内部分别装有活塞，活塞与缸体之间保持良好的配合关系，不仅活塞能在缸内滑动，而且配合面之间又能实现可靠的密封。截止阀5处于关闭状态，当用手向上提起杠杆时，小活塞就被带动上升，于是小液压缸1的下腔密封容积增大，腔内压力下降，形成局部真空，这时排油单向阀2关闭，吸油单向阀3打开，油箱中的油液就在大气压力的作用下沿吸油孔道进入小液压缸的下腔，完成一次吸油动作。接着下压杠杆，小活塞下移，小液压缸1下腔的密封容积减小，腔内压力升高，这时吸油

单向阀3关闭,排油单向阀2打开,因此小液压缸下腔的压力油就会沿着排油通道进入大液压缸6的下腔,推动大缸活塞将重物向上顶起一段距离。如此反复的提压杠杆,就可以使重物不断升起,达到起重的目的。若将截止阀5旋转90°,则在物体的自重作用下,大液压缸中的油液流回油箱,活塞下降到原位。

从上述液压千斤顶的工作原理可以看出,液压传动是依靠液体在密封容积中压力的变化来实现运动和动力传递的。液压传动装置本质上是一种能量转换装置,它将机械能转换为便于输送的液压能,之后又将液压能转换为机械能进行对外做功。

从液压千斤顶的工作过程可以归纳出液压传动的基本原理如下:

(1) 液压传动是以有压力的油液作为传递运动的介质,液压泵把电动机供给的机械能转变成油液的液压能,而液压缸又把油液的液压能转变成机械能。

(2) 在液压泵中,电动机的旋转运动致使密封容积的变化把机械能转化为液压能,即输出具有一定压力和流量的液压油。在液压缸中,也是依靠密封容积的变化,把输入的液压能转变成活塞的直线往复运动的机械能。这种依靠密封容积的变化来进行能量转换和传递的形式称为容积式液压传动。

(3) 在液压传动系统中,系统的压力与执行元件的运动(速度、方向和驱动力)都在控制状态下工作,因此液压传动与液压控制是分不开的。

1.1.1.2 气压传动系统的工作原理

现以气动剪切机为例说明气压传动的工作原理。图1-2所示为气动剪切机的结构原理图,图示位置为剪切前的情况。工作原理为:空气压缩机1产生的压缩空气经冷却器2、分水排水器3、储气罐4、空气过滤器5、减压阀6及油雾器7到达换向阀9,部分经节流通路a进入换向阀9的下腔,使上腔弹簧压缩,使换向阀9的阀芯位于上端;大部分压缩空气经换向阀9后由b路进入气缸10的上腔,而气缸的下腔气体经c路、换向阀9与大气相通,因此气缸活塞处于最下端的位置。当上料装置把工料11送入剪切机并到达规定位置时,工料压下行程阀8,此时换向阀9阀芯下腔压缩空气经d路、行程阀8排入大气,在弹簧的推动下,换向阀9阀芯向下运动至下端;压缩空气则经换向阀9后由c路进入气缸的下腔,上腔经b路、换向阀9与大气相通,气缸活塞向上运动,剪刀随之上行剪断工料。工料被剪下后,即与行程阀8脱离,行程阀8的阀芯在弹簧的作用下复位,d路被堵死,换向阀9阀芯上移,气缸活塞向下运动,又恢复到剪切前的状态。

由以上分析可知,剪刀克服阻力剪断工料的机械能来自于压缩空气的压力能,提供压缩空气的是空气压缩机;气路中的换向阀、行程阀起改变气体流动方向、控制气缸活塞运动方向的作用。

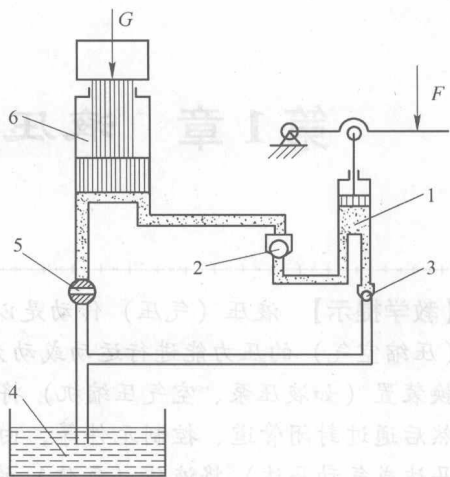


图 1-1 液压千斤顶的工作原理图

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

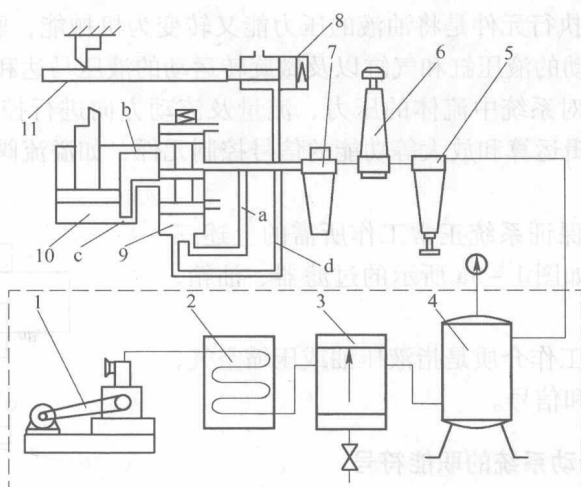


图 1-2 气动剪切机的结构原理图

1—空气压缩机；2—冷却器；3—分水排水器；4—储气罐；5—空气过滤器；6—减压阀；
7—油雾器；8—行程阀；9—换向阀；10—气缸；11—工件

1.1.2 液压与气压传动系统的组成

磨床的液压传动系统要比千斤顶的液压传动系统复杂得多。图 1-3a 为磨床工作台液压系统的工作原理图，它的工作原理如下：

电动机（图中未画出）带动液压泵 3 旋转，过滤器 2 从油箱 1 中吸油，油液经液压泵输出后进入压油管路，如图 1-3a 所示，通过节流阀 5 和换向阀 6 进入双杆液压缸 7 的左腔使工作台 8 向右运动。此时液压缸右腔的油液经换向阀 6 和回油管路 9 流回油箱。如果将换向阀的手柄向左扳动换向到图 1-3b 所示的位置，就会改变液压油进、出液压缸的方向，液压油经换向阀的右位进入液压缸的右腔使工作台向左运动。如果交替扳动手柄，工作台就在液压缸的带动下做往复的直线运动。

在图 1-3a 中，液压泵的供油压力由溢流阀 4 来调定，工作台的移动速度由节流阀 5 来调节，液压泵输出的多余油液经溢流阀 4 和回油管路 10 流回油箱。

从以上几例可以看出，液压与气压传动系统由以下 5 个部分组成：

（1）动力元件。动力元件的作用是将原动机输入的机械能转变成油液的压

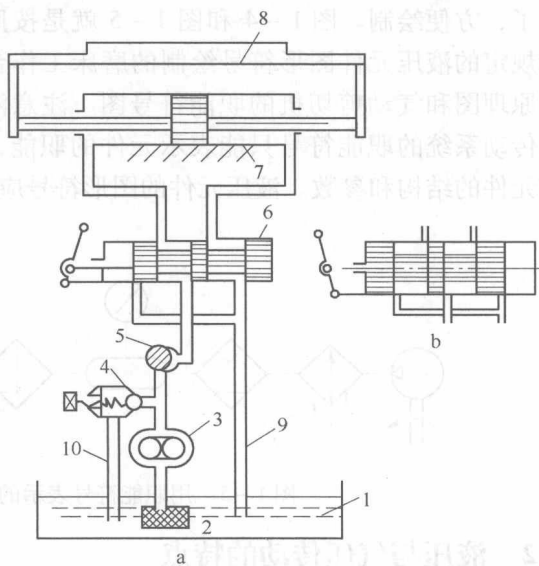


图 1-3 磨床工作台液压系统图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—溢流阀；
5—节流阀；6—换向阀；7—双杆液压缸；
8—工作台；9、10—回油管路

力能。一般是指液压泵（如齿轮泵、叶片泵等）或空气压缩机为系统的动力源。

（2）执行元件。执行元件是将油液的压力能又转变为机械能，驱动工作台对外做功。一般指作直线往复运动的液压缸和气缸以及做旋转运动的液压马达和气马达。

（3）控制元件。对系统中流体的压力、流量及流动方向进行控制和调节的装置，以及具有信号转换、逻辑运算和放大等功能的信号控制元件，如溢流阀、流量控制阀、换向阀等。

（4）辅助元件。保证系统正常工作所需的上述三种元件以外的装置，如图1-3a所示的过滤器、油箱、管件。

（5）工作介质。工作介质是指液压油或压缩空气，可利用它来传递能量和信号。

1.1.3 液压与气压传动系统的职能符号

液压与气压传动系统的表示方法类似。图1-1~图1-3是以液压元件的半结构图的形式来表示液压系统的工作原理，一般称其为结构原理图。这种结构原理图容易理解，但不适合绘制复杂的液压系统。为了简化液压与气压系统的表示方法，通常采用液压职能符号来绘制液压系统的工作原理图。我国已经制定了液压与气动图形符号标准 GB/T 786.1—1993，这样利用液压图形符号绘制液压系统图，可使液压系统简单明了，方便绘制。图1-4和图1-5就是按照国家标准规定的液压元件图形符号绘制的磨床工作台液压系统原理图和气动剪切机的职能符号图。注意液压和气压传动系统的职能符号只能表示元件的职能，并不表示元件的结构和参数。液压元件的图形符号应以元件的静止状态或零位来表示。

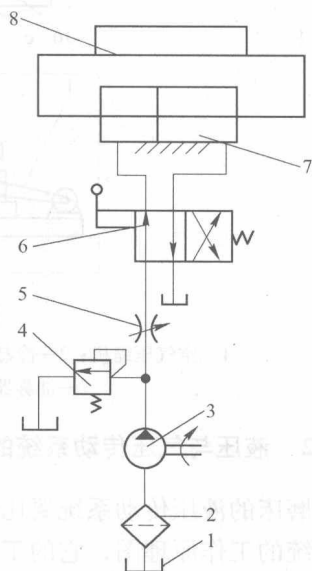


图1-4 用职能符号表示的磨床工作台的液压系统图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；
4—溢流阀；5—节流阀；6—换向阀；
7—双杆液压缸；8—工作台

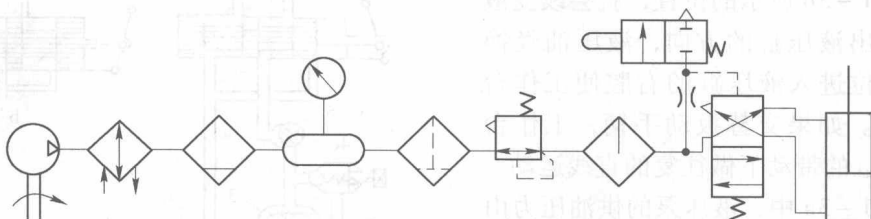


图1-5 用职能符号表示的气动剪切机的气动系统图

1.2 液压与气压传动的特点

1.2.1 液压传动的特点

液压传动与机械传动、电力传动系统相比，具有如下优点：

（1）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