

普通高等院校机械类及相关学科规划教材

液压与气压传动

于治明 初丽微 王志坚 主 编

尚晓峰 郭建烨 刘国军 张云鹏 副主编

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

内 容 简 介

全书分三篇,第1篇为液压气动技术基础,第2篇为液压传动,第3篇为气压传动。全书共13章,第1章概述液压与气压传动系统的工作原理、组成和特点等;第2章介绍液压与气压传动介质;第3章介绍流体静力学和动力学、孔口流动及缝隙流动、气体动力学等;第4~8章介绍液压传动系统所用的动力元件、执行元件、控制调节元件、液压辅助元件和高性能液压元件;第9章介绍液压基本回路;第10章介绍典型液压系统;第11章介绍液压系统的设计与计算;第12章介绍气源装置、气动辅助元件、气动执行元件、气动控制元件等;第13章介绍气动基本回路和常用回路、气动行程程序控制系统的设计等。每章附有习题。在附录中列出了常用液压与气压传动图形符号(摘自GB/T 786.1—2009)及液压常用英语专业词汇,给出了部分习题参考答案,以便学生学习相关的英文文献资料。

本书可作为普通高等院校机械类专业液压与气压传动课程教材,也可供相关工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

液压与气压传动/于治明,初丽微,王志坚主编. —北京:北京理工大学出版社,2017.8
(2017.9 重印)

ISBN 978-7-5682-4603-3

I. ①液… II. ①于… ②初… ③王… 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(2017)第 194642 号

出版发行 / 北京理工大学出版社有限责任公司

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (总编室)

(010) 82562903 (教材售后服务热线)

(010) 68948351 (其他图书服务热线)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 /

开 本 / 787 毫米×1092 毫米 1/16

印 张 / 25

字 数 / 624 千字

版 次 / 2017 年 8 月第 1 版 2017 年 9 月第 2 次印刷

定 价 / 58.00 元

责任编辑 / 陆世立

文案编辑 / 赵 轩

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 施胜娟

图书出现印装质量问题,请拨打售后服务热线,本社负责调换

液压气动技术是机械类专业人才必备的知识之一。“液压与气压传动”课程的任务是使学生掌握液压与气压传动的基础知识,掌握各种液压、气动元件的工作原理、特点、应用和选用方法,熟悉各类液压与气动基本回路的功用、组成和应用场合,了解国内外先进技术成果在机械设备中的应用。

编者在编写本书过程中,遵循理论联系实际的原则,针对机械类专业的需要组织内容。本书具有以下几方面的特点。

(1) 以液压为主,将现代液压技术作为有机组成部分,气动部分则强调其特点。

(2) 在讲透元件工作原理的基础上,着重讲解其在系统中的作用,介绍高性能液压与气动元件(如阀岛等),引入先进的回路(如负载敏感技术)和系统,使元件与系统有机结合。

(3) 遵循理论联系实际的原则,除讲清一般的基础理论知识外,还列举了大量实例,如在介绍液压气动元件时,列举了其在航空、汽车等领域的应用。学生可以借助技术手册等资料进行所需系统的设计及元件的正确选用。

(4) 语言简练、文笔流畅,有利于学生自学。书中编排了一定量的例题,每章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、分析能力的训练等。

(5) 书中的名词术语、物理符号、单位及液压气动图形符号等都统一采用最新国家标准。

具体编写分工如下:于治明编写第1、3、6、8、9、13章,第12章12.5、12.6节,附录C;初丽微编写第4、5、7、10章,第11章11.1、11.2节;王志坚编写第12章12.1至12.4节;尚晓峰编写第2章2.2节和附录A;郭建烨编写第2章2.1节和附录B;刘国军编写第11章11.3节。

本书由沈阳航空航天大学的于治明、初丽微、王志坚任主编;沈阳航空航天大学的尚晓峰、郭建烨和湖南理工大学的刘国军及闽南理工学院张云鹏任副主编。全书由于治明统稿。

编者在编写本书的过程中借鉴了大量的相关材料和文献,在此向这些作者表示诚挚的谢意,同时还要对本书的审阅者和编辑表示衷心的感谢。

限于编者水平,书中难免存在疏漏之处,恳请广大读者批评指正。

编者

第 1 篇 液压气动技术基础

第 1 章 绪论	3
1.1 液压与气压传动系统的工作原理	3
1.2 液压与气压传动系统的组成及图形符号	4
1.2.1 液压与气压传动系统的组成	4
1.2.2 液压与气压传动系统的图形符号	5
1.3 液压与气压传动的特点	6
1.4 液压与气压传动技术的应用与发展	7
1.4.1 液压与气压传动技术的应用	8
1.4.2 液压与气压传动技术的发展	8
本章小结	8
习题	9
第 2 章 工作介质	10
2.1 液压传动的工作介质	10
2.1.1 液压油的物理性质	10
2.1.2 工作介质的类型及选用	13
2.2 气压传动的工作介质	15
2.2.1 空气的物理性质	16
2.2.2 气体状态方程	19
本章小结	21
习题	21
第 3 章 流体力学基础	22
3.1 流体静力学	22
3.1.1 流体静压力及其特性	22

3.1.2 流体静力学方程	23
3.1.3 帕斯卡原理	24
3.1.4 流体对壁面的作用力	25
3.2 流体动力学	25
3.2.1 基本概念	25
3.2.2 连续性方程	29
3.2.3 伯努利方程	29
3.2.4 动量方程	33
3.2.5 气体的流动特性	34
3.3 管道中液流的特性	38
3.3.1 沿程压力损失	39
3.3.2 局部压力损失	41
3.3.3 液压系统管路的总压力损失	41
3.4 孔口及缝隙流动	42
3.4.1 孔口流动	42
3.4.2 缝隙流动	44
3.5 液压冲击及气穴现象	49
3.5.1 液压冲击	49
3.5.2 气穴现象	53
本章小结	54
习题	54

第2篇 液 压 传 动

第4章 液压泵	59
4.1 液压泵概述	59
4.1.1 液压泵的工作原理	59
4.1.2 液压泵的性能参数	60
4.1.3 液压泵的分类和选用	62
4.2 齿轮泵	63
4.2.1 外啮合齿轮泵	63
4.2.2 内啮合齿轮泵	67
4.2.3 螺杆泵	68
4.3 叶片泵	68
4.3.1 单作用叶片泵	69
4.3.2 双作用叶片泵	71
4.3.3 凸轮转子叶片泵	74
4.4 柱塞泵	79
4.4.1 轴向柱塞泵	80

4.4.2 径向柱塞泵	83
4.4.3 柱塞泵的变量机构	84
4.4.4 液压泵的选用	87
本章小结	88
习题	88
第 5 章 执行元件	90
5.1 液压缸	90
5.1.1 液压缸的类型与特点	90
5.1.2 液压缸的典型结构与组成	95
5.1.3 液压缸的设计与计算	102
5.2 液压马达	106
5.2.1 液压马达的分类和特性参数	106
5.2.2 高速液压马达	108
5.2.3 低速液压马达	111
本章小结	114
习题	114
第 6 章 液压阀	116
6.1 液压阀概述	116
6.1.1 液压阀的分类	116
6.1.2 液压阀的基本性能参数	118
6.1.3 液压阀的基本要求	118
6.2 液压阀的共性问题	118
6.2.1 阀口形式	118
6.2.2 液动力	120
6.2.3 卡紧力	122
6.2.4 阀的泄漏特性	123
6.3 方向控制阀	123
6.3.1 单向阀	124
6.3.2 换向阀	126
6.3.3 多路换向阀	132
6.4 压力控制阀	135
6.4.1 溢流阀	135
6.4.2 减压阀	139
6.4.3 顺序阀	141
6.4.4 压力继电器	142
6.5 流量控制阀	143
6.5.1 节流阀	143

6.5.2 调速阀	147
6.5.3 液压保险	149
6.5.4 分流集流阀	150
本章小结	151
习题	152
第 7 章 液压辅助元件	154
7.1 蓄能器	154
7.1.1 蓄能器的功用	154
7.1.2 蓄能器的分类和选用	154
7.1.3 蓄能用蓄能器的容量计算	156
7.1.4 其他情况下蓄能器总容积 V_0 的计算	160
7.1.5 蓄能器的安装	161
7.2 过滤器	161
7.2.1 过滤器的功用和类型	161
7.2.2 过滤器的选用	164
7.2.3 过滤器的安装	164
7.3 热交换器	165
7.3.1 冷却器	166
7.3.2 加热器	167
7.4 液压管件	167
7.5 油箱的功用、结构与设计	170
7.5.1 油箱的功用和结构	170
7.5.2 油箱的设计	170
7.6 密封件	172
7.6.1 密封装置的分类	172
7.6.2 常见密封件的使用和安装要求	173
7.6.3 其他密封装置	177
本章小结	180
习题	180
第 8 章 高性能液压元件	181
8.1 电液比例阀	181
8.1.1 比例电磁铁	181
8.1.2 电液比例压力阀	182
8.1.3 电液比例流量阀	184
8.1.4 电液比例换向阀	185

8.2 伺服阀	186
8.2.1 电液伺服阀	186
8.2.2 机液伺服阀	194
8.3 电液数字阀	195
8.4 叠加阀和插装阀	197
8.4.1 叠加阀	197
8.4.2 插装阀	198
本章小结	203
习题	204
第9章 液压基本回路	205
9.1 压力控制回路	205
9.1.1 调压回路	205
9.1.2 减压回路	206
9.1.3 卸荷回路	207
9.1.4 平衡回路	207
9.1.5 保压回路	208
9.1.6 释压回路	209
9.1.7 增压回路	210
9.1.8 制动回路	210
9.2 速度控制回路	212
9.2.1 调速回路	212
9.2.2 快速运动回路	221
9.2.3 速度换接回路	223
9.3 方向控制回路	224
9.3.1 换向回路	224
9.3.2 锁紧回路	225
9.3.3 缓冲回路	226
9.4 多执行元件控制回路	227
9.4.1 顺序动作回路	228
9.4.2 同步动作回路	229
9.4.3 多执行元件互不干扰回路	231
9.5 负载敏感技术	232
9.5.1 负载敏感技术的概念	232
9.5.2 负载敏感系统的特点	234
9.5.3 负载敏感系统的应用	234
本章小结	236
习题	237

第 10 章 典型液压系统	240
10.1 组合机床动力滑台液压系统	240
10.1.1 概述	240
10.1.2 YT4543 型动力滑台液压系统的工作原理	240
10.1.3 YT4543 型动力滑台液压系统的特点	243
10.2 压力机液压系统	243
10.2.1 概述	243
10.2.2 3150kN 通用压力机液压系统的工作原理	244
10.2.3 通用压力机液压系统的特点	246
10.3 汽车起重机液压系统	246
10.3.1 概述	246
10.3.2 Q2-8 型汽车起重机液压系统的工作原理	247
10.3.3 Q2-8 型汽车起重机液压系统的特点	249
10.4 液压系统常见故障与分析	249
10.4.1 液压系统常见故障诊断方法	249
10.4.2 YT4543 型动力滑台液压系统常见故障与分析	254
10.4.3 通用压力机液压系统常见故障与分析	254
10.4.4 汽车起重机液压系统常见故障与分析	255
本章小结	255
习题	255
第 11 章 液压系统的设计与计算	258
11.1 液压传动系统的设计	258
11.1.1 液压传动系统设计内容与步骤	258
11.1.2 液压系统的施工设计	271
11.2 液压系统的设计计算举例	275
11.2.1 技术要求	275
11.2.2 分析工况及主机工作要求, 拟定液压系统方案	275
11.2.3 参数设计	276
11.2.4 选择液压元件和辅助元件	278
11.2.5 液压系统性能验算	280
11.3 液压系统计算机辅助设计概况及 AMESim 在液压系统仿真中的应用	283
11.3.1 液压系统计算机辅助设计概况	283
11.3.2 AMESim 在液压系统仿真中的应用	284
本章小结	288
习题	288

第3篇 气压传动

第12章 气源装置及气动元件.....	293
12.1 气源装置及空气净化装置.....	293
12.1.1 气源系统的组成.....	293
12.1.2 气动系统对压缩空气质量的要求.....	294
12.1.3 空气压缩机.....	294
12.1.4 压缩空气的净化装置.....	295
12.2 气动辅助元件.....	301
12.2.1 油雾器.....	301
12.2.2 消声器.....	302
12.3 气动执行元件.....	303
12.3.1 气缸.....	303
12.3.2 气动马达.....	309
12.4 气动控制元件.....	311
12.4.1 方向控制阀.....	311
12.4.2 压力控制阀.....	317
12.4.3 流量控制阀.....	320
12.4.4 气动逻辑元件.....	321
12.5 阀岛.....	325
12.5.1 阀岛概述.....	325
12.5.2 阀岛应用.....	328
12.6 真空发生器.....	330
12.6.1 真空发生器的工作原理.....	330
12.6.2 真空发生器的抽吸性能分析.....	331
本章小结.....	332
习题.....	332
第13章 气动回路及系统设计.....	333
13.1 气动基本回路.....	333
13.1.1 方向控制回路.....	333
13.1.2 压力与力控制回路.....	334
13.1.3 速度控制回路.....	336
13.1.4 位置控制回路.....	338
13.2 其他常用回路.....	339
13.2.1 安全保护回路.....	339
13.2.2 同步动作回路.....	341
13.2.3 往复动作回路.....	343

13.2.4 真空吸附回路.....	345
13.2.5 延时回路.....	346
13.2.6 计数回路.....	347
13.3 气动行程程序控制系统的设计.....	348
13.4 气动技术应用举例.....	359
13.4.1 气控机械手.....	359
13.4.2 钻孔机气动系统.....	361
本章小结.....	363
习题.....	363
附录 A 液压与气压传动常用图形符号.....	364
附录 B 液压专业词汇中英文对照表.....	369
附录 C 部分习题参考答案.....	380
参考文献.....	387



第 1 篇

液压气动技术基础

液压气动技术是实现工业自动化的有效手段，是机械设备中发展速度极快的技术之一。液压气动技术是液压与气压传动及控制的简称，指以流体（液压油液、压缩气体）为工作介质，进行能量和信号的传递，来控制各种机械设备，故又称为流体传动及控制。根据传递能量的工作介质不同，传动可分为机械传动、电气传动、流体传动及电力电子传动。机械传动、电气传动、流体传动及电力电子传动并列为四大传动形式。



1.1 液压与气压传动系统的工作原理

流体传动以流体为工作介质，进行能量转换、传递和控制的传动，包括液压传动、液力传动和气压传动。液压传动是以液体（通常为油液）作为工作介质，利用液体压力能来传递动力和进行控制的一种传动方式。液力传动也是以液体作为工作介质，但它是液体的动能来传递功率并完成对外做功。气压传动是以气体作为工作介质，利用气体压力能来传递动力和进行控制的一种传动方式。液压与气压传动的工作原理及其特征是相似的。现以液压千斤顶为例，简述其工作原理。

如图 1-1 所示，当向上抬起杠杆时，与杠杆铰接的小活塞向上运动，小液压缸 1 下腔容积增大，形成局部真空，压油阀 2 关闭，油箱 4 的油液在大气压作用下顶开吸油阀 3 进入小液压缸 1。当向下压杠杆时，小液压缸 1 下腔容积减小，油液受挤压，压力升高关闭吸油阀 3、顶开压油阀 2，油液经油管进入大液压缸 6 的下腔，推动大活塞上移顶起重物。因此吸油阀 3 称为吸油单向阀，压油阀 2 称为排油单向阀。不断扳动杠杆，就不断有油液进入大液压缸 6 下腔，以举升重物。杠杆停止动作，大液压缸 6 下腔油液压力会使压油阀 2 关闭，从而使大活塞连同重物一起自锁不动。当重物被举升时，截止阀 5 关闭；当需要放下大活塞时，打开此阀，大液压缸 6 下腔油液将在重力作用下排回油箱。小液压缸 1 在杠杆的作用下，将机械能转换为油液的压力能，大液压缸 6 又将油液的压力能转换为机械能以举升重物，从而实现了能量、力和运动的传递。其中力的传递遵循帕斯卡原理，运动（速度和位移）的传递遵循密闭工作容积变化相等的原则。由此得出，液压传动的两个特征：系统工作压力取决于外负载，负载越

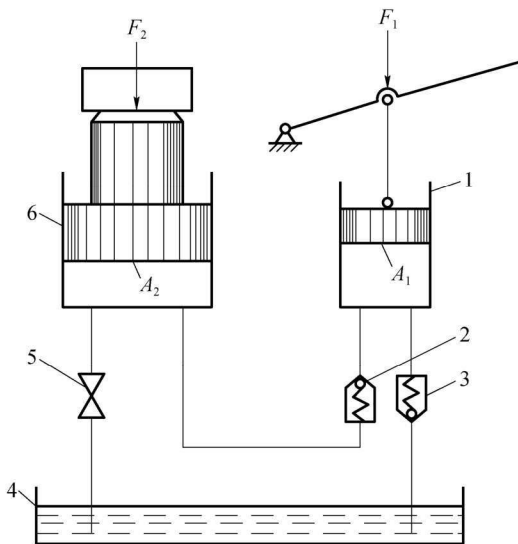


图 1-1 液压千斤顶工作原理图

1—小液压缸；2—压油阀；3—吸油阀；4—油箱；
5—截止阀；6—大液压缸； A_1 —小活塞的面积； A_2 —大活塞的面积；
 F_1 —作用在小活塞上的作用力； F_2 —作用在大活塞的负载

大，产生的压力就越高；活塞的运动速度取决于单位时间内输入的液体体积（流量）。液体的压力 p 和流量 q 是液压系统中两个最基本的性能参数。

1.2 液压与气压传动系统的组成及图形符号

1.2.1 液压与气压传动系统的组成

由液压千斤顶的工作原理图，可以看出液压系统由以下五个部分组成：

（1）能源装置。它是供给液压系统压力油，把机械能转换成液压能的装置。最常见的形式是液压泵。

（2）执行装置。它是把液压能转换成机械能的装置。其形式有做直线运动的液压缸，有做回转运动的液压马达，它们又称为液压系统的执行元件。

（3）控制调节装置。它是对系统中流体的压力、流量或流动方向进行控制或调节的装置，如溢流阀、节流阀、换向阀、开停阀等。

（4）辅助装置。上述三部分之外的其他装置，如油箱、滤油器、油管等。它们对保证系统正常工作是必不可少的。

（5）工作介质。工作介质是指传递能量的流体，即液压油等。

气压传动系统一般由以下部分组成，如图 1-2 所示。

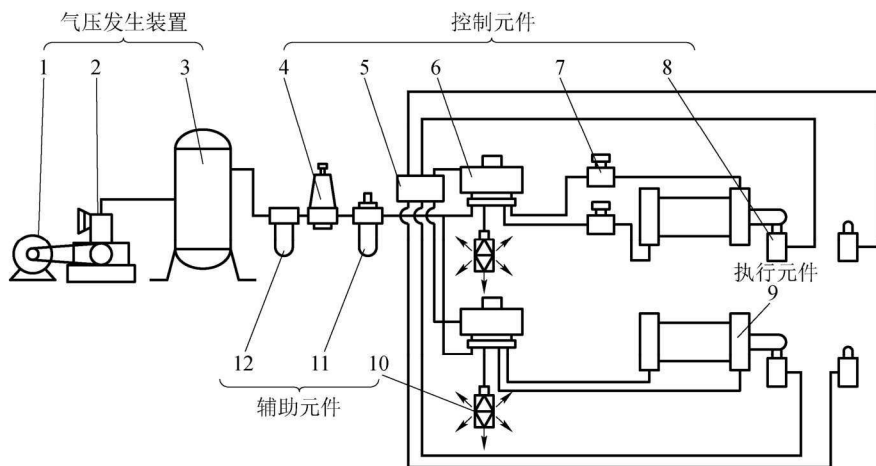


图 1-2 气压传动系统的组成示意图

1—电动机；2—空气压缩机；3—气罐；4—压力阀；5—逻辑元件；6—方向阀；
7—流量阀；8—行程阀；9—气缸；10—消声器；11—油雾器；12—过滤器

（1）气压发生装置。它将原动机输出的机械能转变为气体的压力能。其主要设备是空气压缩机。

（2）控制元件。控制元件用来控制压缩空气的压力、流量和流动方向，以保证执行元件具有一定的输出力和速度，并按设计的程序正常工作，如压力阀、流量阀、方向阀和逻辑阀等。

（3）执行元件。执行元件是将空气的压力能转变为机械能的能量转换装置，如气缸和气动马达。

(4) 辅助元件。辅助元件是用于辅助气动系统正常工作的一些装置，如过滤器、干燥器、消声器和油雾器等。

1.2.2 液压与气压传动系统的图形符号

图 1-3 所示的液压系统是一种半结构式的工作原理图，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 GB/T 786.1—2009 《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图形符号》。

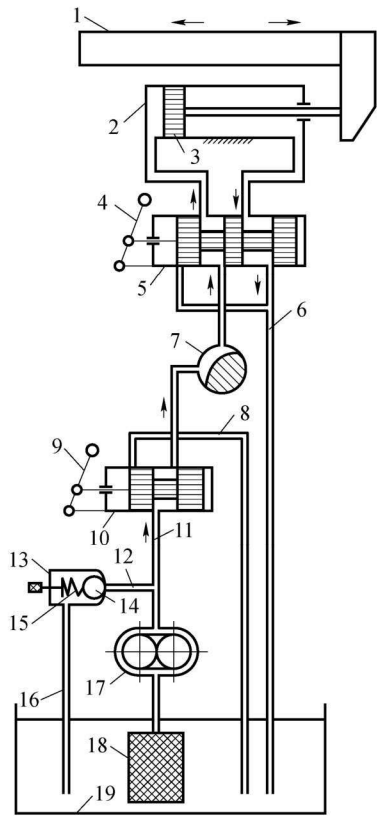


图 1-3 机床工作台液压系统工作原理图

1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向手柄；5—换向阀；6，8，16—回油管；7—节流阀；9—开停手柄；10—开停阀；11—压力管；12—压力支管；13—溢流阀；14—钢球；15—弹簧；17—液压泵；18—滤油器；19—油箱

关于图形符号，有以下几条基本规定。

(1) 符号只表示元件的职能，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) 元件符号内的油液流动方向用箭头表示，线段两端都有箭头的，表示流动方向可逆。

(3) 符号均以元件的静止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。

图 1-4 所示为图 1-3 系统用国家标准 GB/T 786.1—2009 中液压系统图形符号绘制的工作

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。

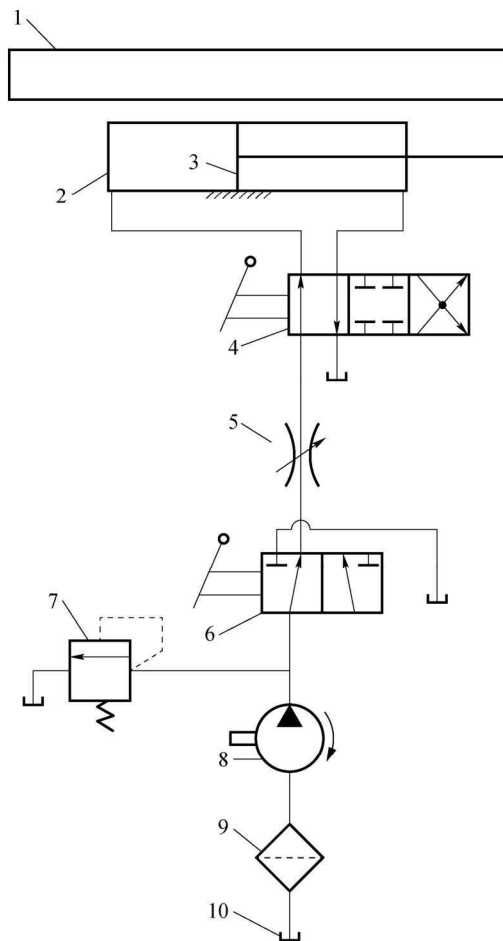


图 1-4 机床工作台液压系统的图形符号图

1—工作台；2—液压缸；3—活塞；4—换向阀；5—节流阀；6—开停阀；7—溢流阀；8—液压泵；9—滤油器；10—油箱

1.3 液压与气压传动的特点

1. 液压传动的优点

液压传动的主要优点如下：

(1) 由于液压传动系统采用油管连接，所以可以方便灵活地布置传动机构，这是比机械传动优越的地方。例如，在井下抽取石油的泵可采用液压传动来驱动，以克服长驱动轴效率低的缺点。由于液压缸的推力很大，加之极易布置，在挖掘机等重型工程机械上，已基本取代老式的机械传动。采用液压传动的机械不仅操作方便，而且外形美观大方。

(2) 液压传动装置质量小、结构紧凑、惯性小。例如，相同功率液压马达的体积为电动