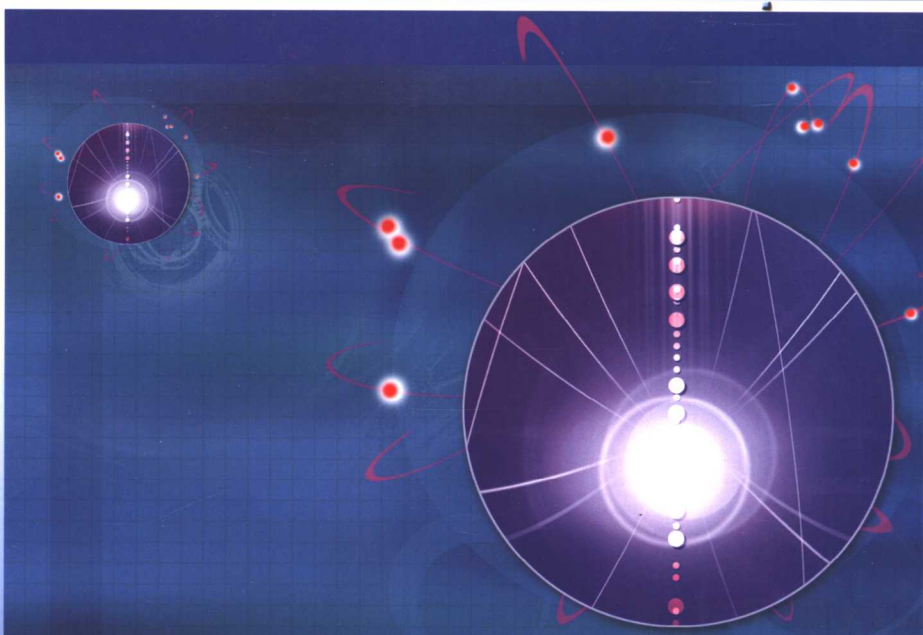


液压与气动技术基础

◎ 主 编 邹建华 吴定智 许小明



华中科技大学出版社

<http://www.hustp.com>

21 世纪高职高专机电系列规划教材

液压与气动技术基础

主 编 邹建华 吴定智 许小明

副主编 陆全龙 余立刚

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

液压与气动技术基础/邹建华 吴定智 许小明 主编
武汉:华中科技大学出版社,2006年3月
ISBN 7-5609-3669-5

I. 液…

II. ①邹… ②吴… ③许…

III. 液压传动-气压传动-高等学校-教材

IV. TH13

液压与气动技术基础

邹建华 吴定智 许小明 主编

责任编辑:曾光 夏启龙

封面设计:刘卉

责任校对:胡金贤

责任监印:张正林

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87557437

录排:武汉万卷鸿图科技有限公司

印刷:华中科技大学印刷厂

开本:787×960 1/16

印张:15.25

字数:268 000

版次:2006年3月第1版

印次:2006年3月第1次印刷

定价:24.00元

ISBN 7-5609-3669-5/TH·142

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 简 介

本书主要讲述液压与气动技术的基础知识,包括元件、回路、系统以及系统的安装、使用和维护。全书共十一章,分别讲述了液压传动基础知识、液压泵和液压马达、液压缸、液压控制阀、液压辅助元件、液压基本回路、典型液压系统、液压伺服控制、液压系统的设计与计算、液压系统的安装、使用和维护,以及气动回路及运用实例。

本书以必需、够用为原则,在叙述概念和定律时,尽量避免使用让学生感到困难的微分方程,而采用通俗易懂的叙述方法。本书特别突出应用能力的培养。

本书可作为高职高专的机械制造、机电一体化、自动控制及其他相关专业的学生学习液压与气动技术的教材,也可供有关教师和工程技术人员参考。

前 言

本书是遵循高等职业技术学院的培养目标,结合作者多年的教学和实践工作经验编写而成。在编写过程中,力求做到以应用为目的,以必需、够用为度,同时反映液压与气动技术最新发展情况。本书注意技术术语、计量单位的规范性,图形符号和文字符号的规范化,尽量使用通俗的语言来叙述基本概念、基本原理和基本结构,做到深入浅出、通俗易懂。

本书考虑到各校开设本门课程的不同需要,将液压与气动分开来编写。全书共十一章,其中前十章是液压传动的内容,第11章是气动技术的内容。这样便于各校在应用中取舍。全书除带*号的内容外,建议教学时数为60学时。带*号的内容为参考内容,供需要的专业选用。

本书的第1章、第2章和第3章由武汉职业技术学院邹建华编写,第4章、第6章由黄石机电职业技术学院吴定智编写,第5章、第7章由武汉工程职业技术学院陆全龙编写,第8章、第9章、第10章由三峡职业技术学院许小明、散小燕编写,第11章由湖北职业技术学院余立刚编写,武汉职业技术学院的朱晓玲参与了部分习题的选编。全书由邹建华统稿和定稿。

本书在编写过程中,得到了许多专家的指点。由于编者水平有限,编写时间仓促,书中肯定有许多错误和不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者
2005年12月

目 录

第 1 章 液压传动基础知识	(1)
1.1 液压传动装置的工作原理及组成	(1)
1.1.1 液压传动装置的工作原理	(1)
1.1.2 液压传动系统的组成	(4)
1.1.3 液压传动系统的图形符号	(6)
1.1.4 液压传动的特点	(6)
1.2 液压油	(7)
1.2.1 液压油的物理特性	(7)
1.2.2 液压系统对液压油的基本要求及选用	(11)
1.3 液体静力学	(12)
1.3.1 液体静压力及其特性	(13)
1.3.2 液体静力学基本方程式	(13)
1.3.3 压力的表示方法及单位	(14)
1.3.4 帕斯卡原理	(16)
1.3.5 液压静压力对固体壁面的作用力	(17)
1.4 液体动力学	(17)
1.4.1 基本概念	(18)
1.4.2 连续性方程	(21)
1.4.3 伯努利方程	(22)
1.4.4 动量方程	(25)
1.5 液体流动时的压力损失	(26)
1.5.1 沿程压力损失	(26)
1.5.2 局部压力损失	(27)
1.5.3 管路系统的总压力损失	(28)
1.6 液体流经小孔及隙缝的流量	(29)
1.6.1 液体流经小孔的流量	(29)
1.6.2 液体流经缝隙的流量	(30)
1.7 液压冲击及气穴现象	(33)
1.7.1 液压冲击	(33)
1.7.2 气穴现象	(33)
习题	(34)

第2章 液压泵和液压马达	(37)
2.1 液压泵和液压马达概述.....	(37)
2.1.1 液压泵和液压马达的工作原理.....	(37)
2.1.2 液压泵和液压马达的分类.....	(38)
2.1.3 液压泵和液压马达的压力和流量.....	(39)
2.1.4 液压泵和液压马达的功率和效率.....	(40)
2.2 齿轮泵.....	(43)
2.2.1 齿轮泵的工作原理.....	(43)
2.2.2 齿轮泵的排量 and 流量计算.....	(44)
2.2.3 齿轮泵的结构.....	(45)
2.3 叶片泵.....	(48)
2.3.1 单作用叶片泵.....	(48)
2.3.2 双作用叶片泵.....	(50)
2.3.3 外反馈限压式变量叶片泵.....	(52)
2.4 柱塞泵.....	(55)
2.4.1 径向柱塞泵.....	(55)
2.4.2 轴向柱塞泵.....	(56)
2.5 液压泵的选用.....	(58)
2.6 液压马达.....	(59)
2.6.1 轴向柱塞式液压马达的工作原理.....	(59)
2.6.2 轴向柱塞式液压马达的典型结构.....	(60)
习题.....	(61)
第3章 液压缸	(63)
3.1 液压缸的类型和特点.....	(63)
3.1.1 活塞式液压缸.....	(63)
3.1.2 柱塞式液压缸.....	(66)
3.1.3 摆动式液压缸.....	(68)
3.1.4 其他形式的液压缸.....	(68)
3.2 液压缸的典型结构和组成.....	(70)
3.2.1 液压缸的典型结构举例.....	(70)
3.2.2 液压缸的组成.....	(70)
3.3 液压缸的设计和计算.....	(74)
3.3.1 液压缸主要尺寸的计算.....	(75)
3.3.2 液压缸的校核.....	(76)
习题.....	(77)

第 4 章 液压控制阀	(80)
4.1 阀的作用和分类.....	(80)
4.2 方向控制阀.....	(81)
4.2.1 单向阀	(81)
4.2.2 换向阀	(83)
4.3 压力控制阀.....	(90)
4.3.1 溢流阀	(90)
4.3.2 减压阀	(93)
4.3.3 顺序阀	(94)
4.3.4 压力继电器	(96)
4.4 流量控制阀.....	(98)
4.5 其他液压控制阀.....	(100)
4.5.1 比例阀	(100)
4.5.2 插装阀	(102)
4.5.3 叠加阀	(103)
习题.....	(106)
第 5 章 液压辅助元件	(108)
5.1 蓄能器.....	(108)
5.1.1 蓄能器的分类、结构与特点	(108)
5.1.2 蓄能器的功用	(109)
5.1.3 蓄能器的安装	(110)
5.2 过滤器.....	(111)
5.2.1 过滤器的主要性能指标	(111)
5.2.2 过滤器的类型和结构	(111)
5.2.3 过滤器的选用	(113)
5.2.4 过滤器的安装位置	(114)
5.3 油箱.....	(115)
5.3.1 油箱的作用和分类	(115)
5.3.2 油箱的典型结构和设计要点	(116)
5.4 热交换器.....	(117)
5.5 油管、管接头.....	(118)
5.5.1 油管	(118)
5.5.2 管接头	(118)
5.6 密封装置.....	(120)
5.6.1 间隙密封	(120)

5.6.2 密封圈密封	(121)
习题	(124)
第 6 章 液压基本回路	(126)
6.1 速度控制回路	(126)
6.1.1 调速回路	(126)
6.1.2 速度换接回路	(130)
6.2 压力控制回路	(131)
6.2.1 调压回路	(131)
6.2.2 减压回路	(131)
6.2.3 增压回路	(132)
6.2.4 卸荷回路	(132)
6.2.5 平衡回路	(134)
6.3 方向控制回路	(135)
6.3.1 换向回路	(135)
6.3.2 闭锁回路	(136)
6.4 多缸动作回路	(137)
6.4.1 顺序动作回路	(137)
6.4.2 同步回路	(139)
6.4.3 互锁回路	(143)
6.4.4 多缸快慢速互不干涉回路	(144)
习题	(146)
第 7 章 典型液压系统	(147)
7.1 组合机床动力滑台的液压系统	(147)
7.1.1 组合机床动力滑台液压系统工作原理	(147)
7.1.2 组合机床动力滑台液压系统特点	(149)
7.2 压力液压机的液压系统	(150)
7.2.1 万能液压机液压系统工作原理	(150)
7.2.2 万能液压机液压系统特点	(154)
7.3 数控机床的液压系统	(154)
习题	(156)
第 8 章 液压伺服控制简介	(157)
8.1 液压伺服系统工作原理	(157)
8.1.1 液压伺服控制原理	(157)
8.1.2 液压伺服控制系统的基本特点	(158)
8.2 液压伺服系统应用举例	(159)

8.2.1 车床液压仿形刀架是机液伺服系统	(159)
8.2.2 汽车转向液压助力器	(161)
8.2.3 机械手伸缩运动伺服系统	(162)
习题	(163)
第 9 章 液压系统与气动系统的设计	(164)
9.1 液压与气压传动系统设计的主要内容及步骤	(164)
9.1.1 了解主机工作要求, 明确设计依据	(164)
9.1.2 拟定系统方案(原理图)	(165)
9.1.3 参数设计	(166)
9.1.4 元件选择	(167)
9.1.5 性能验算	(168)
9.1.6 绘制工作图, 编制技术文件	(170)
9.2 液压系统的设计计算举例	(170)
9.2.1 分析工况及主机工作要求, 拟定液压系统方案	(171)
9.2.2 参数设计	(173)
9.2.3 选择元件	(175)
9.2.4 液压系统性能验算	(178)
习题	(180)
第 10 章 液压系统的安装、使用和维护	(182)
10.1 液压系统的安装与调试	(182)
10.1.1 液压系统的安装	(182)
10.1.2 液压系统的调试	(184)
10.2 液压系统的使用与维护	(185)
习题	(190)
第 11 章 气压传动	(191)
11.1 气压传动概述	(191)
11.1.1 气压传动系统的组成和工作原理	(191)
11.1.2 气压传动的特点	(193)
11.1.3 气压传动的应用	(194)
11.2 气动元件	(195)
11.2.1 气源装置及辅助元件	(195)
11.2.2 气动执行元件	(202)
11.2.3 气动控制元件	(207)
11.3 气动回路及运用实例	(212)
11.3.1 换向回路	(212)

11.3.2 压力控制回路	(213)
11.3.3 速度控制回路	(214)
11.3.4 气液联动回路	(215)
11.3.5 延时控制回路	(216)
11.3.6 记数回路	(216)
11.3.7 安全保护和操作回路	(217)
11.3.8 顺序动作回路	(219)
11.3.9 气动系统实例	(221)
习题	(225)
附录	(226)
参考文献	(232)

第1章 液压传动基础知识

液压传动是指以液体为工作介质，利用密闭系统中的受压液体来传递运动和动力的一种传动方式。这种传动方式通过动力元件(泵)将原动机的机械能转换为油液的压力能，然后通过管道、控制元件，借助执行元件(油缸或油马达)将油液的压力能转换为机械能，驱动负载实现直线或回转运动。本章主要讨论液压传动的工作原理、液压传动系统的组成以及流体力学基础知识等。

1.1 液压传动装置的工作原理及组成

1.1.1 液压传动装置的工作原理

液压千斤顶就是一个简单的液压传动装置，下面以图 1.1 所示的液压千斤顶为例来说明液压传动的工作原理。

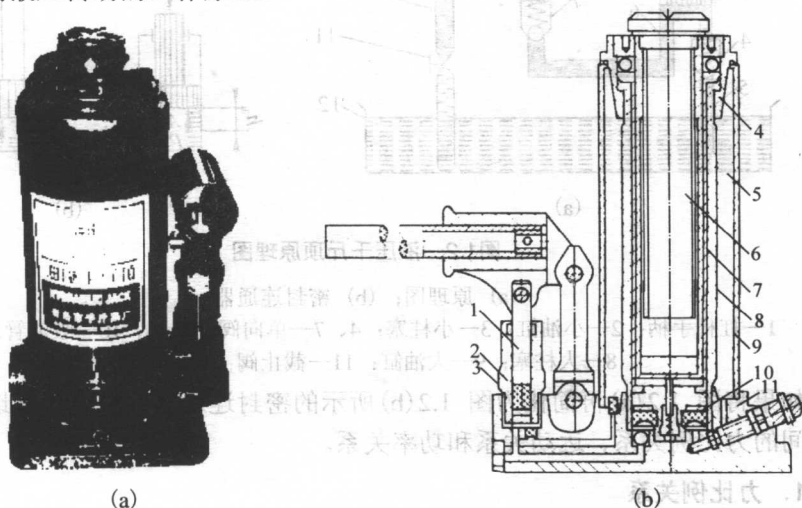


图 1.1 液压千斤顶的外形和结构图

(a) 外形图；(b) 结构图

- 1—小柱塞；2—小油缸；3—密封圈；4—顶帽；5—液压油；6—调节螺杆；
7—大柱塞；8—大油缸；9—外壳；10—密封圈；11—底座

为了便于说明, 将图 1.1 简化为图 1.2。如图 1.2(a) 所示为液压千斤顶的原理示意图。大油缸 9 和大柱塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1、小油缸 2、小柱塞 3、单向阀 4 和 7 组成手动液压泵。如提起手柄使小活塞向上移动, 小柱塞下端油腔容积便增大, 形成局部真空, 这时单向阀 4 打开, 通过吸油管 5 从油箱 12 中吸油; 用力压下手柄, 小柱塞下移, 小柱塞下腔压力升高, 单向阀 4 关闭, 单向阀 7 打开, 下腔的油液经管道 6 输入大油缸 9 的下腔, 迫使大柱塞 8 向上移动, 顶起重物。再次提起手柄吸油时, 举升缸下腔的压力油将力图倒流入手动泵内, 但此时单向阀 7 自动关闭, 使油液不能倒流, 从而保证重物不会自行下落。不断地往复扳动手柄, 就能不断地把油液压入举升缸下腔, 使重物逐渐地升起。如果打开截止阀 11, 举升缸下腔的油液通过管道 10、截止阀 11 流回油箱, 大柱塞在重物和自重的作用下向下移动, 回到原始位置。

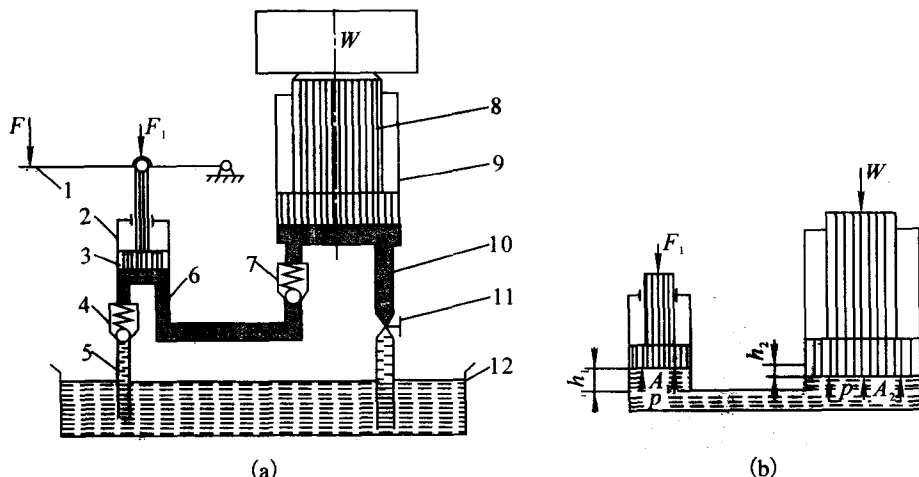


图1.2 液压千斤顶原理图

(a) 原理图; (b) 密封连通器

1—杠杆手柄; 2—小油缸; 3—小柱塞; 4、7—单向阀; 5、6、10—吸油管道;
8—大柱塞; 9—大油缸; 11—截止阀; 12—油箱

如果将图 1.2(a) 再简化为图 1.2(b) 所示的密封连通器, 可更清楚地分析两柱塞之间的力比例关系、运动关系和功率关系。

1. 力比例关系

当大柱塞上有重物负载 W 时, 只有小柱塞上作用一个主动力 F_1 才能使密封连通器保持力的平衡。此时大柱塞下腔的油液产生的压力为 W/A_2 , 小柱塞下腔产生的压力为 F_1/A_1 。根据帕斯卡的“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”, 也就是密封连通器中的压力应该处处相等, 故

$$\frac{W}{A_2} = \frac{F_1}{A_1} = p \quad (1.1)$$

或

$$W = \frac{A_2}{A_1} F_1 \quad (1.2)$$

式中： A_1 、 A_2 分别为小柱塞和大柱塞的作用面积； F_1 为杠杆手柄作用在小柱塞上的力； p 为油液的工作压力。

由式(1.1)可知， $p=W/A_2$ ，即当负载 W 增大时，流体工作压力 p 也要随之增大，亦即 $F_1=pA_1$ 要随之增大；反之，负载 W 很小，流体压力就很小， F_1 也就很小。由此可知一个很重要的基本概念，即在液压传动中工作压力取决于负载，而与流入的流体多少无关。由式(1.2)可知，在液压传动中，力不但可以传递，而且通过作用面积($A_2>A_1$)的不同，力还可以放大。千斤顶所以能够以较小的推力顶起较重的负载，原因就在于此。

2. 运动关系

如果不考虑液体的可压缩性、漏损和缸体、油管的变形，则从图 1.2(b)可以看出，被小柱塞压出的油液的体积必然等于大柱塞向上升起后大油缸中油液增加的体积。即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1.3)$$

式中： h_1 、 h_2 分别为小柱塞和大柱塞的位移。将 $A_1 h_1 = A_2 h_2$ 两端同除以活塞移动的时间 t ，可得

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

即

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (1.4)$$

式中： v_1 、 v_2 分别为小柱塞和大柱塞的运动速度。

Ah/t 的物理意义是单位时间内液体流过截面积为 A 和某一截面的体积，称为流量 q ，即 $q=Av$ ，得

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1.5)$$

因此，如果已知进入缸体的流量 q ，则柱塞运动速度为

$$v = \frac{q}{A} \quad (1.6)$$

调节进入油缸的流量 q ，即可调节柱塞的运动速度 v ，这就是液压传动能实现无级调速的基本原理。它揭示了另一个重要的基本概念，即活塞的运动速度取决

于进入油缸的流量，而与流体的压力无关。

3. 功率关系

由式(1.2)和式(1.4)可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (1.7)$$

式(1.7)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)可得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = p q \quad (1.8)$$

由式(1.8)可以看出，液压传动中的功率 P 可以用压力 p 和流量 q 的乘积表示， p 和 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。它们的乘积为功率。

1.1.2 液压传动系统的组成

如图 1.3 所示为一驱动机床工作台的液压传动系统。该系统的工作原理是：液压泵 3 由电动机带动从油箱 1 中吸油，油液经过滤油器 2 进入液压泵的吸油腔，当它从液压泵中输出并进入压力油路后，经节流阀 6 至换向阀 7，当换向阀 7 处于图 1.3(a) 所示状态时，即换向阀两端的电磁铁均不通电而使阀芯处于中位，管口 P 、 A 、 B 、 T 均不相通，液压缸左、右两腔均得不到压力油，工作台处于停止状态。此时液压油因压力升高顶开溢流阀的阀芯返回油箱。若换向阀 7 左端电磁铁通电，将阀芯推向右侧处于图 1.3(b) 所示位置时，此时管口 P 和 A 相通， B 和 T 相通，压力油经 P 口、换向阀 7、 A 口流入液压缸 8 的左腔，由于液压缸的缸体固定，活塞 9 在压力油的推动下，通过活塞杆带动工作台 10 向右运动，同时，液压缸 8 右腔的油液经 B 口、换向阀 7、 T 口流回油箱。若换向阀 7 右端电磁铁通电，将阀芯推向左侧处于图 1.3(c) 所示位置时，此时管口 P 和 B 相通， B 和 T 相通，压力油经 P 口、换向阀 7、 B 口流入液压缸 8 的右腔，推动工作台 10 向左运动，同时，液压缸 8 左腔的油液经 A 口、换向阀 7、 T 口流回油箱。

工作台的移动速度是通过节流阀 6 来调节的，当节流阀的开口打开时，进入液压缸的油液量就大，工作台的移动速度就快，同时经溢流阀 5 溢回油箱的油液就相应减少；当节流阀的开口减小时，工作台的移动速度将减慢，同时经溢流阀溢回油箱的油液就相应增加。液压缸推动工作台移动时必须克服液压缸所受到的各种阻力，这些阻力由液压泵输出油液的压力来克服。根据工作时阻力的不同，要求液压泵输出的油液压力应能进行控制，这个功能是由溢流阀 5 来完成的。当油液压力对溢流阀的阀芯作用力略大于溢流阀中弹簧对阀芯的作用力时，阀芯才能移动，使阀口打开，油液经溢流阀溢流回油箱，压力不再升高，此时，泵出口

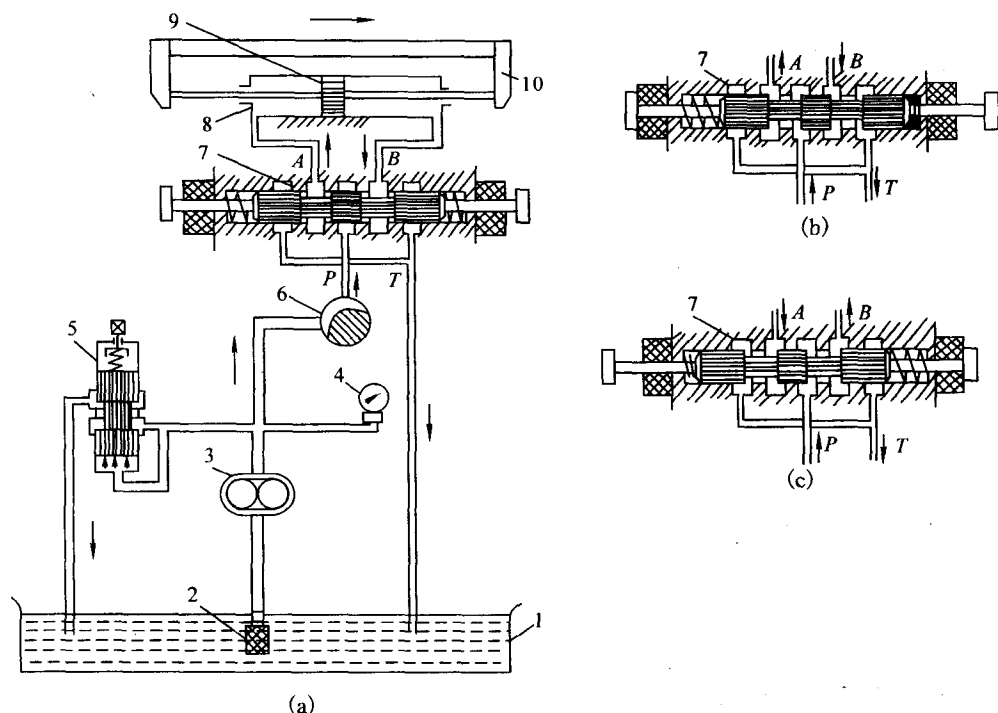


图1.3 机床工作台液压系统工作原理图

1—油箱；2—过滤器；3—液压泵；4—压力计；5—溢流阀；6—节流阀；
7—换向阀；8—液压缸；9—活塞；10—工作台

处的油液压力是由溢流阀决定的。

由上面的两个例子可以看出，液压系统主要由五个部分组成。

① 动力元件——最常见的形式就是液压泵，它是将电动机输出的机械能转换成油液液压能的装置。其作用是向液压系统提供压力油。

② 执行元件——包括液压缸和液压马达，它是将油液的液压能转换成驱动负载运动的机械能装置。

③ 控制元件——包括各种阀类，如上例中的溢流阀、节流阀、换向阀等。这些元件的作用是控制液压系统中油液的压力、流量和流动方向，以保证执行元件完成预期的工作。

④ 辅助元件——上述三种元件以外的其他装置。包括油箱、油管、过滤器以及各种指示器和仪表。它们的作用是提供必要的条件使系统得以正常工作和便于监测控制。

⑤ 工作介质——传动液体，通常称液压油。液压系统就是通过工作介质来实现运动和动力传递的。

1.1.3 液压传动系统的图形符号

在图 1.3 中,组成液压系统的各个元件是用半结构图画出来的,这种画法直观性强,容易理解,但难于绘制。所以,在工程实际中,除特殊情况外,一般都用简单的图形符号来绘制液压系统原理图。图 1.4 所示为采用国家标准 GB786.1—1993 规定的液压图形符号来绘制的液压系统原理图。图中的符号只表示元件的功能,不表示元件的结构和参数。使用这些图形符号,可使液压系统图简单明了,便于绘制。按照规定,液压元件符号均以元件静止位置或零位表示,有些液压元件无法采用功能符号表示时,仍允许采用结构原理图表示。

GB786.1—1993 液压图形符号参见附录。

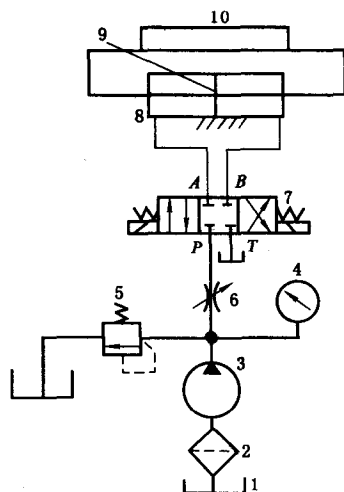


图1.4 用图形符号绘制的
液压系统原理图

1.1.4 液压传动的特点

液压传动与机械传动、电气传动、气压传动相比有以下特点。

1. 液压传动的优点

- ① 液压传动能方便地实现无级调速,调速范围大。
- ② 在同等功率的情况下,液压传动装置体积小、重量轻、结构紧凑。
- ③ 工作平稳,换向冲击小,便于实现频繁换向。
- ④ 易于实现过载保护。液压元件能自行润滑,使用寿命长。
- ⑤ 操作简单、方便、易于实现自动化,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 液压元件实现了标准化、系列化、通用化,便于设计、制造和使用。

2. 液压传动的缺点

- ① 液压传动中的泄漏和液体的可压缩性使传动无法保证严格的传动比。
- ② 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。
- ③ 液压传动有较多的能量损失(泄漏、摩擦等),故传动效率较低。
- ④ 液压传动出现故障时不易查找原因。
- ⑤ 为了减少泄漏和满足某些性能上的要求,液压元件的配合件制造精度要求较高,加工工艺较复杂。