



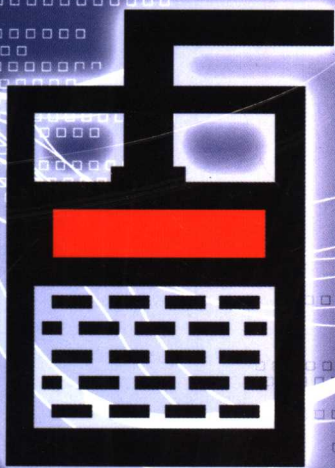
21世纪高等职业技术教育 机电一体化专业规划教材  
数控技术

# 气压与液压传动

## 控制技术

■ 主 编 胡海清 陈爱民  
■ 副主编 徐军

Qiya yu yeya chuandong  
kongzhi jishu



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS



中国石化出版社 CHINA PETROLEUM PUBLISHING HOUSE

# 气压与液压传动

## 控制技术



主编 王 强

副主编 王 强

主 审 王 强

主 编 王 强

副 编 王 强

参 编 王 强

中国石化出版社

21 世纪高等职业技术教育机电一体化·数控技术专业规划教材

# 气压与液压传动 控制技术

主 编 胡海清 陈爱民  
副主编 徐 军

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

## 内 容 简 介

本书主要介绍了气、液压传动控制系统的工作原理和基本构成, 流体传动中的基础理论知识, 气、液压能源, 执行及控制元件的结构、功能和应用。此外, 本书还结合工业实际应用对气、液压基本控制回路的构成和功能进行了较为具体的分析和介绍。

本书以培养机电一体化应用型人才为目标, 为了使学生牢固地掌握本专业所需的基本理论和基本技能, 书中注重基础理论教育的同时, 突出实用性、针对性和先进性。结合我国高等职业教育的现状, 在保留经典理论体系的同时, 又吸收新的科技成果, 注重加强基本概念、基本分析方法和基本技能的培养和训练, 体现高等职业教育的特点。

本书是高等职业教育机电一体化专业的规划教材, 主要供高等职业学校机电一体化专业、数控技术专业学生作为教材使用, 也可供从事机电一体化专业的工程技术人员参考。

版权专有 侵权必究

---

### 图书在版编目 (CIP) 数据

气压与液压传动控制技术 / 胡海清, 陈爱民主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2006. 8

ISBN 7-5640-0760-5

I. 气… II. ①胡… ②陈… III. ①气压传动-高等学校: 技术学校-教材 ②液压传动-高等学校: 技术学校-教材 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 088898 号

---

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 16

字 数 / 315 千字

版 次 / 2006 年 8 月第 1 版 2006 年 8 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 23.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

---

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

## 出版说明

当前，高度发达的制造业和先进的制造技术已经成为衡量一个国家综合经济实力和科技水平的重要标志之一，成为一个国家在竞争激烈的国际市场上获胜的关键因素。

如今，中国已成为制造业大国，但还不是制造业强国。我们要从制造业大国走向制造业强国，必须大力发展以数控技术为主的先进制造技术，提高计算机辅助设计与制造（CAD/CAM）的技术水平。

制造业要发展，人才是关键。尽快培养一批高技能人才和高素质劳动者，是先进制造业实现技术创新和技术升级的迫切要求。高等职业教育既担负着培养高技能人才的任  
务，也为自身的发展提供了难得的机遇。

为适应制造业的深层次发展和数控技术的广泛应用，根据高等职业教育发展与改革的新形势，北京理工大学出版社组织知名专家、学者，与生产制造企业的技术人员反复研讨，以教育部《关于加强高职高专人才培养工作的若干意见》等文件对高职高专人才培养的要求为指导思想，确立了“满足制造业对人才培养的需求，适应行业技术改革，紧跟前沿技术发展”的思路，编写了这套高职高专教材。本套教材力图实现：以培养综合素质为基础，以能力为本位，把提高学生的职业能力放在突出位置，加强实践性教学环节，使学生成为企业生产服务一线迫切需要的高素质劳动者；以企业需求为基本依据，以就业为导向，增强针对性，又兼顾适应性；课程设置和教学内容适应技术发展，突出机电一体化、数控技术应用专业领域的新知识、新技术、新工艺和新方法；教学组织以学生为主体，提供选择和创新的空  
间，构建开放、富有弹性、充满活力的课程体系，适应学生个性化发展的需要。

本套教材的主要特色有：

1. 借鉴国内外职业教育先进教学模式，顺应现代职业教育教学制度的改革趋势；
2. 以就业为导向，进行了整体优化；
3. 理论与实践一体化，强化了知识性和实践性的统一。

本套教材适合于作为高职高专院校机电一体化、数控技术、机械制造及自动化、模具设计与制造等专业的课程教学和技能培训用书。

北京理工大学出版社

# 前 言

本书是为了适应高等职业技术教育发展的需要而编写的机电一体化、数控技术专业规划教材之一。书中借鉴了德国“双元制”职业教育相关教材的先进理念，并针对高职机电一体化、数控技术专业教学对象的实际情况进行编写。

全书共分为9章，全面细致地介绍气源系统及气源处理装置、气动执行元件、气动传动基本控制回路、气压传动应用实例、液压传动基础知识、液压能源部件、液压执行元件回路、液压传动基本控制回路及液压传动应用实例。书中所用回路图均采用德国FESTO公司FLUIDSIM-P和FLUIDSIM-H软件绘制，部分图形符号与国家标准GB/T 786.1—93略有出入，具体对照请参见附录。

在编写过程中，我们从应用角度出发，力求贯彻少而精、理论联系实际的原则，突出基本知识的掌握和基本技能的培养，以读者为本，条理清晰，便于阅读，主要特点体现为：

1. 在具体讲述液压与气动元件时侧重于基本原理而不过多涉及具体结构，以示意图为主，通俗易懂。
2. 在气压传动与液压传动的讲述中，既考虑到两个内容的独立性和完整性，又考虑到两者的共同点，力求使读者学完本书后，能真正掌握液压与气压传动的主要内容和设计方法。
3. 本书所有实验课题均取材于实际生产中的应用，与生产实际紧密结合。
4. 根据现代技术发展需要和工业实际应用情况，做到气压与液压并重，纠正了传统教材中重液压轻气动的弊病。
5. 根据课题需要合理安排理论知识，注重技能培养，体现了“教、学、做合一”的职业教育特色。

6. 本书系理论实践一体化教学教材，适合在实验室现场教学时使用。

本书是机械类、数控类专业通用教材，也可作为相关技术人员的参考书。

本书由江苏联合职业技术学院无锡机电分院胡海清、陈爱民担任主编，徐军担任副主编，其中第3章、第4章、第9章和实验课题答案部分由胡海清编写；绪论、第1章、第8章和附录由陈爱民编写；第2章、第5章、第6章和第7章由徐军编写。

由于编者学识和经验有限，书中难免有错漏之处，敬请广大读者批评指正。

编者



# 目 录

绪论 .....	(1)
0.1 概述 .....	(1)
0.2 气、液压传动的工作原理 .....	(1)
0.3 气、液压传动中的力、速度与功率 .....	(3)
0.4 气、液压传动系统的基本构成 .....	(6)
0.5 气、液压传动的基本特点 .....	(7)
0.6 气、液压传动的发展趋势 .....	(9)
本章小结 .....	(10)
复习思考题 .....	(10)
<b>第1章 气源系统及气源处理装置 .....</b>	<b>(11)</b>
1.1 压缩空气 .....	(11)
1.2 压力的表示方法 .....	(14)
1.3 空气压缩站 .....	(14)
1.4 气源处理装置 .....	(19)
1.5 供气管线 .....	(28)
本章小结 .....	(30)
复习思考题 .....	(31)
<b>第2章 气动执行元件 .....</b>	<b>(32)</b>
2.1 气缸 .....	(32)
2.2 摆动气缸 .....	(41)
2.3 气动马达 .....	(43)
2.4 真空元件 .....	(45)
本章小结 .....	(47)
复习思考题 .....	(47)

<b>第3章 气动传动的的基本控制回路</b> .....	(48)
3.1 气动回路图 .....	(48)
3.2 方向控制阀 .....	(49)
3.3 直接控制与间接控制 .....	(55)
3.4 逻辑控制回路 .....	(59)
3.5 行程程序控制回路 .....	(64)
3.6 速度与时间控制回路 .....	(90)
3.7 压力控制回路 .....	(101)
本章小结 .....	(108)
复习思考题 .....	(108)
<b>第4章 气压传动的应用实例</b> .....	(111)
4.1 气动钻床的气压传动系统 .....	(111)
4.2 零件使用寿命检测装置 .....	(113)
4.3 气动技术在数控机床中的应用 .....	(115)
本章小结 .....	(117)
复习思考题 .....	(117)
<b>第5章 液压传动的的基础知识</b> .....	(118)
5.1 液压油 .....	(118)
5.2 液体静力学与液体动力学 .....	(126)
5.3 流动液体的压力损失 .....	(131)
5.4 空穴现象和气蚀 .....	(133)
5.5 液压冲击 .....	(135)
本章小结 .....	(136)
复习思考题 .....	(136)
<b>第6章 液压能源部件</b> .....	(137)
6.1 液压泵 .....	(138)
6.2 液压辅助元件 .....	(147)
本章小结 .....	(156)
复习思考题 .....	(157)

<b>第7章 液压执行元件</b>	(158)
7.1 概述	(158)
7.2 液压缸	(158)
7.3 液压马达	(166)
本章小结	(169)
复习思考题	(170)
<b>第8章 液压传动的的基本控制回路</b>	(171)
8.1 液压控制阀的结构特点与连接方式	(172)
8.2 行程控制回路	(176)
8.3 速度控制回路	(184)
8.4 压力控制回路	(201)
本章小结	(222)
复习思考题	(222)
<b>第9章 液压传动的应用实例</b>	(225)
9.1 液压采样机	(225)
9.2 轴承压装机液压系统	(226)
9.3 液压技术在数控机床中的应用	(227)
本章小结	(230)
复习思考题	(230)
<b>部分章节实验课题答案</b>	(231)
1. 第3章实验课题答案	(231)
2. 第8章实验课题答案	(240)
<b>附录 图形符号对照表</b>	(242)
<b>参考文献</b>	(244)

# 绪 言

---

## 0.1 概 述

液压传动与气压传动统称为流体传动，都是利用有压流体（液体或气体）作为工作介质来传递动力或控制信号的一种传动方式。

不论液压传动还是气压传动，相对于机械传动来说，都是一门新兴的技术。若从17世纪中叶帕斯卡提出静压传递原理、18世纪末英国制成第一台水压机开始算起，液压传动已有二三百年的历史，但只是在第二次世界大战后的60年间这项技术才得到真正的发展。战后，随着现代科学技术的迅速发展和制造工艺水平的提高，各种液压元件的性能日益完善，液压技术迅速转向民用工业，在机床、工程机械、农业机械、运输机械、冶金机械等许多机械装置特别是重型机械设备中得到非常广泛的应用，并渗入到工业的其他领域中，成为工业领域中一门非常重要的控制和传动技术。特别是出现了高精度、响应速度快的伺服阀后，液压技术的应用更是飞速发展，在20世纪70年代末至80年代末，由于电子计算机的迅速发展，促使液压技术进入了数控液压伺服技术的时期。目前普遍认为：电子技术和液压技术相结合是液压系统实现自动控制的发展方向。

气动技术由风动技术和液压技术演变、发展而来，作为一门独立的技术门类至今还不到50年。由于气压传动的动力传递介质是取之不尽的空气，环境污染小，工程实现容易，所以在自动化领域中充分显示出它强大的生命力和广阔的发展前景。气动技术在机械、电子、钢铁、运输车辆及橡胶、纺织、轻工、化工、食品、包装、印刷、烟草等各个制造行业，尤其在各种自动化生产装备和生产线中得到了非常广泛的应用，成为当今应用最广、发展最快、也最易被接受和重视的技术之一。

## 0.2 气、液压传动的工作原理

液压与气压传动的工作原理是相似的，它们都是执行元件在控制元件的控制下，将传动介质（压缩空气或液压油）的压力能转换为机械能，从而实现了对执行机构运动的控制。

图0-1和图0-2为液(气)压执行机构(液、气压缸)的活塞在控制元件(换向阀)的控制下实现运动的工作过程示意图。

图0-1所示的单作用缸动作控制示意图中,按下换向阀4的按钮前,进油(气)口5封闭,单作用缸的活塞2由于弹簧的作用力处于缸体的左侧。按下按钮后,换向阀切换到左位,使液压油(压缩空气)进油口5与缸的左侧腔体(无杆腔)相通,液压油(压缩空气)推动活塞克服摩擦力和弹簧的反作用力,向右运动,带动活塞杆向外伸出。松开按钮,换向阀在弹簧力的作用下回到右位,进油(气)口5再次封闭,缸无杆腔与排油(气)口6相通,由于油(气)压作用在活塞左侧的推力消失,在缸复位弹簧弹力的作用下,活塞缩回。这样就实现了单作用缸活塞杆在油(气)压和弹簧作用下的直线往复运动。

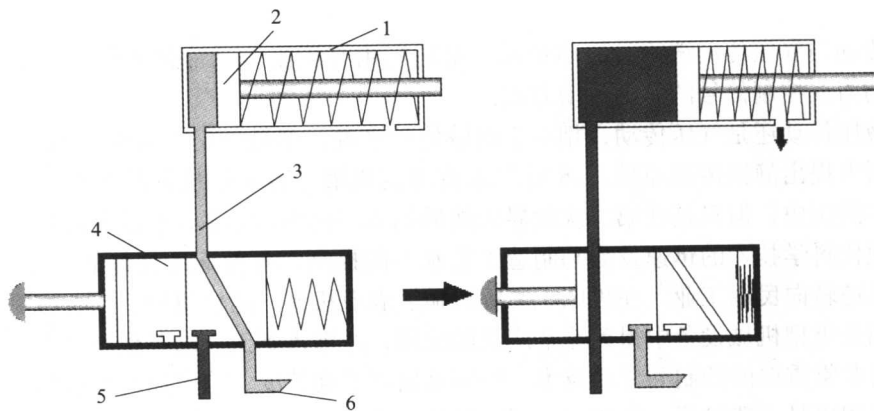


图0-1 单作用液、气压缸动作控制示意图

1—单作用缸；2—活塞；3—连接管；4—按钮式二位三通换向阀；  
5—进油(气)口；6—排油(气)口

图0-2所示的双作用缸动作控制示意图中,在按下换向阀4的按钮前,双作用缸左腔(无杆腔)与排油(气)口6连通,右腔(有杆腔)与液压油(压缩空气)进口5连通,在液压油(压缩空气)的压力作用下使活塞处于缸体左侧,活塞杆处于缩回状态。按下按钮后,换向阀切换至左位,使缸左腔与进油(气)口5相通,右腔与排油(气)口6相通,压力作用推动活塞向右运动,带动活塞杆伸出。松开按钮,换向阀4复位,压力作用在活塞右侧,使活塞杆再次缩回。这样就实现了双作用缸活塞杆在油(气)压作用下的直线往复运动。

通过图0-1和图0-2可以看出,双作用缸与单作用缸的工作原理是有区别的。单作用缸活塞仅有一个方向上的运动是通过压力作用实现的;而双作用缸活塞的双向往复运动都是在压力作用下实现的。用于控制这两种缸的换向阀在结构上也有所不同,控制单作用缸的换向阀有一个进油(气)口、一个排油(气)口和一个与缸相连的输出口;而控制双作用缸

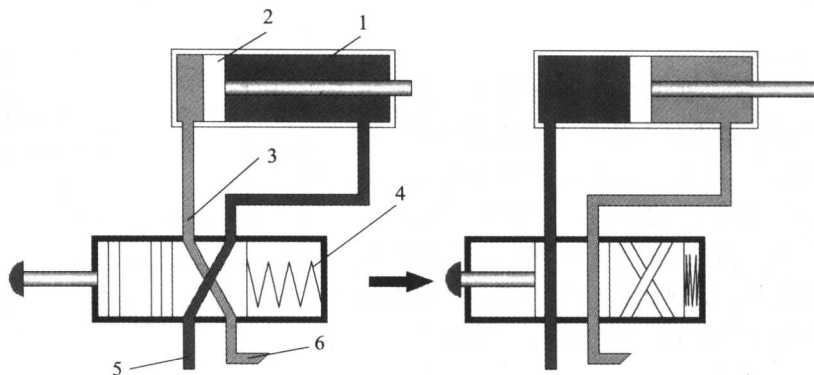


图 0-2 双作用液、气压缸动作控制示意图

1—双作用缸；2—活塞；3—连接管；4—按钮式二位四通换向阀；  
5—进油（气）口；6—排油（气）口

的换向阀由于同时要控制缸内两个腔的进排油（气），所以有两个输出口。

## 0.3 气、液压传动中的力、速度与功率

### 0.3.1 帕斯卡原理

$$p = F_1/A_1 = F_2/A_2 = F_3/A_3 = F_4/A_4 = F_5/A_5$$

如图 0-3 所示，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的各点，这就是帕斯卡原理，或称静压传递原理。帕斯卡的发现为封闭流体在传动和放大方面的应用开辟了道路，它也是气、液压传动的最基本的原理。

### 0.3.2 气、液压传动中的力、速度与功率

下面以图 0-4 所示的液压千斤顶的工作原理图为例来分析气、液压传动中力、运动速度与功率的关系。应当注意的是在液压传动控制系统中用的是刚性的液压油，所以对输出力的大小、运动速度、功率等往往有着较高的控制要求，而气压传动由于传动介质为具有很强可压缩性的压缩空气，所以一般只考虑气动执行机构动作的实现，而对输出力的大小、运动速度、功率等则没有严

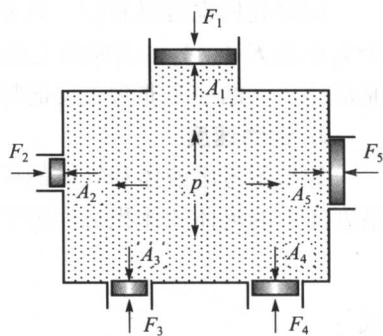


图 0-3 帕斯卡原理示意图

格的控制要求。

### 1. 力比例关系

如图 0-4 所示, 在两个互相连通的容器中装有流体, 容器的上部装有小活塞 1 和大活塞 2, 它们的面积分别为  $A_1$  和  $A_2$ , 并在大活塞上面放一重物负载  $W$ 。由于重物  $W$  的作用, 大活塞下腔产生压力  $p$ ,  $p = W/A_2$ 。根据帕斯卡原理在忽略流体和活塞质量的情况下, 要顶起负载  $W$ , 就必须在小活塞上施加一个向下的力  $F_1$ ,  $F_1 = pA_1$ , 因而有:

$$p = \frac{F_1}{A_1} = \frac{W}{A_2}$$

或

$$\frac{W}{F_1} = \frac{A_2}{A_1} \quad (0.1)$$

式中:  $A_1$  和  $A_2$ ——分别是小活塞和大活塞的作用面积;

$F_1$ ——作用在小活塞上的力;

$W$ ——负载。

式 (0.1) 是液压传动和气压传动中力传递的基本公式, 由于  $p = W/A_2$ , 因此, 当负载  $W$  增大时, 流体工作压力  $p$  也要随之增大, 亦即  $F_1$  要随之增大; 反之若负载  $W$  减小, 流体压力就降低,  $F_1$  也就减小。由此可以得到一个很重要的结论: 在液压和气压传动中工作压力取决于负载, 而与流入的流体多少无关。

同时我们也可以看到, 只要对小活塞上施加大小为  $F_1$  的力, 即可在大活塞下方产生一个大小为  $F_1 A_2 / A_1$ 、方向向上的推力。这个力是  $F_1$  的  $A_2 / A_1$  倍, 从而实现了力的放大, 这是流体传动的一个非常重要的特征。

### 2. 运动速度

如果不考虑液体和气体的可压缩性、泄漏和缸体的变形等因素, 由图 0-4 可知, 被小活塞压出的流体的体积必然等于大活塞向上升起后大缸扩大的体积。即

$$A_1 h_1 = A_2 h_2$$

或

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (0.2)$$

式中:  $h_1$  和  $h_2$ ——分别为小活塞和大活塞的位移。

由式 (0.2) 可知, 两个活塞的位移和两个活塞的面积成反比, 将  $A_1 h_1 = A_2 h_2$  两端同时除以活塞移动的时间  $t$  得

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

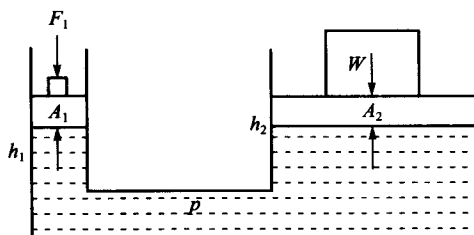


图 0-4 力、速度和功率关系示意图

即

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = \dots$$

或

$$\frac{v_2}{v_1} = \frac{A_1}{A_2} \quad (0.3)$$

式中： $v_1$  和  $v_2$ ——分别为小活塞和大活塞的运动速度。

从式 (0.3) 可以看出，活塞的运动速度和活塞的作用面积成反比。

$Ah/t$  的物理意义是单位时间内流体流过截面积为  $A$  的某一截面的体积，称为流量  $q$ ，即

$$q = Av$$

图 0-5 可知，如果已知进入缸体的流量为  $q$ ，则活塞的运动速度为

$$v = q/A \quad (0.4)$$

可见调节进入缸体的流体流量  $q$ ，即可调节活塞的运动速度  $v$ ，这就是液压传动与气压传动能实现无级调速的基本原理。由此我们还可以得到另一个重要的结论：即活塞的运动速度取决于进入液压（气压）缸的流量，而与流体的压力大小无关。

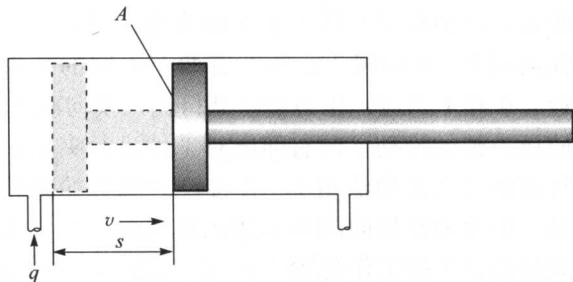


图 0-5 运动关系示意图

但在气压传动系统中，由于空气具有很强的可压缩性，所以气缸活塞的运动速度并不能完全按照上面的公式来进行计算。

### 3. 功率关系

由式 (0.1) 和式 (0.3) 可得

$$F_1 v_1 = W v_2 \quad (0.5)$$

式中，等号左端为输入功率，右端为输出功率，这说明在不计损失的情况下流体传动的输入功率等于输出功率。由式 (0.5) 还可得出

$$P = p A_1 v_1 = p A_2 v_2 = pq \quad (0.6)$$

式中： $P$ ——功率；

$p$ ——流体压力；

$q$ ——流体的流量。

由式 (0.6) 可知，在液压和气压传动中的功率  $P$  可以用压力  $p$  和流量  $q$  的乘积来表示，压力  $p$  和流量  $q$  是流体传动中最基本、最重要的两个参数，它们的乘积即为功率。

由以上分析可以得出第三个重要结论：液压和气压传动是以流体的压力能来传递动力的。



## 0.4 气、液压传动系统的基本构成

### 0.4.1 液压传动系统

如图 0-6 所示的液压夹紧装置传动原理图, 液压泵 3 由电动机 2 带动, 从油箱 1 中吸油, 然后将具有压力能的油液输送到管路, 油液通过过滤器 5 过滤后, 经节流阀 6 流至换向阀 7。换向阀 7 的阀芯有两个不同的工作位置, 当阀芯处于左位时, 阀口 P 和 A 相通, B 和 T 相通, 压力油经 P 口流入换向阀 A 口, 进入液压缸 8 的左腔, 液压缸活塞在左腔压力油的推动下向右伸出对工件进行夹紧; 液压缸右腔的油液则通过换向阀 7 的 B 口经回油口 T 流回油箱 1。若将换向阀 7 的阀芯切换到右位, 阀口 P 和 B 相通, A 和 T 相通, 压力油经换向阀 B 口进入液压缸右腔, 左腔排油, 液压缸活塞左移, 工件松开。因此换向阀 7 的工作位置不同时, 就能不断改变压力油的通路, 使液压缸换向, 以实现工作台所需要的往复运动。

根据加工要求的不同, 工作台的移动速度可通过节流阀 6 来调节, 改变节流阀开口的大小可以调节通过节流阀的流量, 以控制工作台的运动速度。

夹紧过程中, 由于工件材料不同, 要克服的阻力也不同, 不同的阻力都是由液压泵输出油液的压力能来克服的, 系统的压力可通过溢流阀 4 调节。当系统中的油压升高到稍高于溢流阀的调定压力时, 溢流阀上的钢球被顶开, 油液经溢流阀排回油箱, 这时油压不再升高, 维持定值。为保持油液的清洁, 设置了过滤器 5, 将油液中的污物杂质去掉, 使系统工作正常。

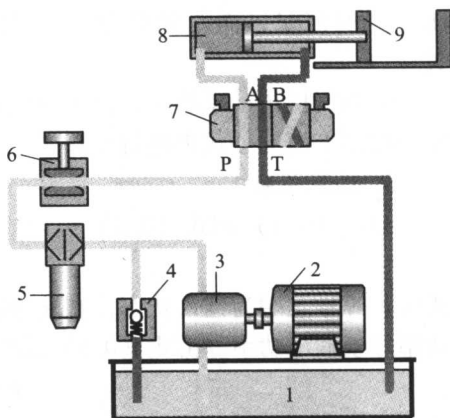


图 0-6 液压夹紧装置传动原理图

- 1—油箱；2—电动机；3—液压泵；  
4—溢流阀；5—过滤器；6—节流阀  
7—电磁换向阀；8—液压缸；  
9—工作台；P、A、B、T—换向阀各油口

### 0.4.2 气动系统

图 0-7 为一个气动系统的回路图。气动三联件 1Z1 用于对压缩空气进行过滤、减压和注入润滑油雾, 按钮 1S1、1S2 信号经梭阀 1V2 处理后控制主控换向阀 1V1 切换到左位, 使气缸 1A1 伸出; 行程阀 1S3 则在气缸活塞杆伸出到位后, 发出信号控制 1V1 切换回右位, 使气缸活塞缩回。