

液压与气压传动控制技术

(第2版)

● 主编 梅荣娣

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

液压与气压传动控制技术 (第2版)

主 编 梅荣娣
副主编 陈大龙 王子平
参 编 马 玲 华春国 陈震乾 徐丹凤
帅 伟 郭爱云 陈之酉 贡晓红



图书在版编目 (CIP) 数据

液压与气压传动控制技术/梅荣娣主编. —2 版. —北京: 北京理工大学出版社, 2017. 8

ISBN 978 - 7 - 5682 - 4529 - 6

I. ①液… II. ①梅… III. ①液压传动 - 高等学校 - 教材 ②气压传动 - 高等学校 - 教材 IV. ①TH137 ②TH138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 188559 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 / 北京泽宇印刷有限公司

开 本 / 787 毫米 × 1092 毫米 1/16

印 张 / 19

字 数 / 446 千字

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

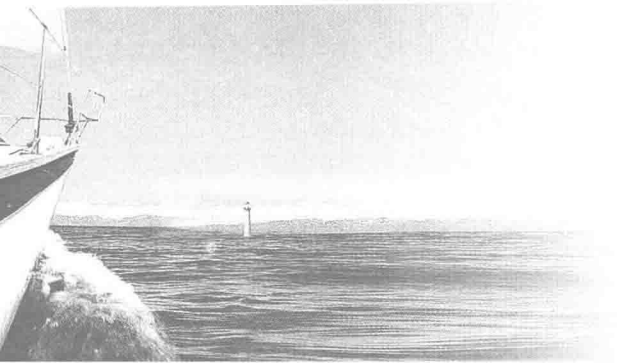
定 价 / 69.00 元

责任编辑 / 赵 岩

文案编辑 / 梁 潇

责任校对 / 周瑞红

责任印制 / 李志强



丛书编审委员会

主任委员：夏成满 晏仲超

委 员：常松南 陶向东 徐 伟 王稼伟
刘维俭 曹振平 倪依纯 郭明康
朱学明 孟华锋 朱余清 赵太平
孙 杰 王 琳 陆晓东 缪朝东
杨永年 强晏红 赵 杰 吴晓进
曹 峰 刘爱武 何世伟 丁金荣

前 言

进入 21 世纪以来,我国高等教育坚持以服务为宗旨、就业为导向的办学方针快速发展,其规模不断扩大,改革不断深化,质量和效益明显提高,站在了一个新的历史起点上。在新的形势下,全面建设小康社会、构建社会主义和谐社会,对高等教育提出了新的更高的要求。教育部明确提出,要把发展高等教育摆在更加突出的位置,一手抓规模扩大,一手抓质量提高,采取强有力的措施,推动高等教育实现规模、结构、质量和效益的协调发展。在进一步深化高等教育教学改革中,要加强学生技能培养,高度重视实践和实训教学环节,突出“做中学、做中教”的教学特色。

教育部同时提出,专业课程的内容要紧密联系生产劳动实际和社会实践,突出应用性和实践性,并注意与相关职业资格考核要求相结合,以培养学生掌握必要的专业知识和比较熟练的职业技能,提高学生就业、创业能力和适应职业变化的能力。

液压与气压传动控制技术是高等院校机械类专业、机电类专业及自动化专业的核心教学课程。本教材的编写遵循以就业为导向、能力为本位的指导思想,以项目为引领,任务为驱动,以技能训练为中心,配备相关的理论知识构成项目化教学模块来优化教材内容,便于采用理论实践一体化训练法,通过“做中学、做中教、边学边做”来实施教学内容,实现理论知识与技能训练的统一。全书内容包括气压传动和液压传动技术两部分,主要论述了液压与气压传动基础知识、气源设备的使用和调节、气动基本回路的功能和应用、气动系统的分析和设计、液压元件、液压基本回路的功能和设计、液压系统的分析和故障排除等。全书共分 13 个项目,每个项目由多个任务组成,每个任务都包含任务要求、相关的知识准备、技能训练,内容的呈现符合学生的认知规律。

本教材具有以下特色:

(1) 教材的相关项目采用工程应用实例,体现“管用、够用、适用”的指导思想,项目目标明确,实用性强。

(2) 以任务为驱动,每一任务的要求明确,强化学生的技能训练,突出理论与实践的一体化。

(3) 每个项目设置“学习导航”“要点归纳”“问题探究”“思考与练习”,在突出实践动手能力培养的基础上,重视知识、能力、素质的协调发展。

(4) 将电气、气动、液压技术有机地融合,为学生专业的拓展和可持续发展提供了强有力的保障。

(5) 教材所用符号采用最新的液压与气动国家标准(2009)和电气标准(2008)。

本教材由梅荣娣担任主编，陈大龙、王子平担任副主编。参加编写的人员和具体分工为：梅荣娣编写项目一、二、三、四、五，陈震乾编写项目六，帅伟与郭爱云编写项目七，陈大龙编写项目八，贡晓红编写项目九，徐丹凤编写项目十，马玲编写项目十一，华春国编写项目十二，王子平编写项目十三，陈之酉编写部分液压项目实例。全书由梅荣娣负责组稿和定稿，张国军教授审稿。本书在编写过程中，得到了学校、相关企业和有关同志特别是王猛教授的热情支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中疏漏和错误之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

编 者

目 录

项目一 认识气压传动	1
任务一 认识气压传动系统	1
任务二 手动控制送料装置的设计与调试	11
要点归纳	13
思考与练习	14
项目二 气源设备的调节	16
任务一 认识气压传动中的力学基础知识	16
任务二 认识空气压缩机	20
任务三 认识气源净化装置	24
任务四 气源设备的调整训练	31
要点归纳	33
思考与练习	34
项目三 夹紧气缸的设计	35
任务一 认识其他类型气缸	35
任务二 认识气压马达	42
任务三 夹紧气缸的设计	46
要点归纳	47
思考与练习	47
项目四 折边装置的设计与调试	49
任务一 认识双气控换向阀控制的换向回路	50
任务二 认识手动 - 自动换向回路	52
任务三 认识双压阀回路	54
任务四 认识快速排气阀应用回路	55
任务五 折边装置的设计与调试	57
要点归纳	58
思考与练习	59
项目五 双缸动作气动系统的分析	61
任务一 认识高低压转换回路及压力控制阀	62
任务二 认识流量控制阀及速度控制回路	65
任务三 认识顺序动作回路	70
任务四 认识其他基本回路	72

目录

任务五 双缸动作气动系统的分析	77
要点归纳	79
思考与练习	80
项目六 典型气动系统的分析与维护	82
任务一 认识气动回路中的符号及行程程序控制	82
任务二 客车车门气动系统的分析与运行调试	87
任务三 卧式加工中心气动换刀系统的分析与故障排除	89
任务四 气-液动力滑台气压传动系统的分析与故障排除	92
任务五 认识气动系统常见故障及其排除方法	95
要点归纳	97
思考与练习	97
项目七 电气-气动程序控制回路的设计	99
任务一 认识常用的电气元件和电气基本回路	99
任务二 用直觉法(经验法)设计电气回路图	103
任务三 用串级法设计电气回路图	110
任务四 汽车自动开门装置的设计与调试	116
要点归纳	117
思考与练习	118
项目八 认识液压传动	120
任务一 认识液压千斤顶	120
任务二 认识液压传动中的能量损失和两种现象	125
任务三 液压千斤顶的使用	127
要点归纳	129
思考与练习	129
项目九 认识液压泵	131
任务一 认识液压泵工作原理和性能参数	131
任务二 齿轮泵的拆装	135
任务三 叶片泵的拆装	139
任务四 柱塞泵的拆装	143
要点归纳	148
思考与练习	149



《《《 目 录

项目十 认识液压缸与液压马达	150
任务一 液压缸的拆装	150
任务二 液压马达的拆装	164
要点归纳	167
思考与练习	167
项目十一 液压控制回路的类型与设计	169
任务一 认识方向控制回路及其核心元件	169
任务二 认识压力控制回路及其控制阀	179
任务三 认识流量控制阀及速度控制回路	191
任务四 认识多缸工作控制回路	201
任务五 认识电液比例控制阀和插装阀	207
任务六 汽车起重机支腿收放控制回路的设计与调试	213
任务七 注塑机合模控制回路的设计与调试	215
要点归纳	217
思考与练习	218
项目十二 认识液压辅助元件	222
任务 认识液压辅助元件	222
要点归纳	231
思考与练习	231
项目十三 典型液压传动系统的分析及故障排除	233
任务一 机械手液压传动系统的分析及故障排除	233
任务二 组合机床动力滑台液压系统的分析及故障排除	240
任务三 数控车床液压系统的分析及故障排除	245
任务四 Q2-8 型汽车起重机液压系统的分析与故障排除	250
任务五 SZ-250A 型注塑机液压系统的分析与故障排除	254
要点归纳	261
思考与练习	262
附录	265
气动图形符号 (2009)	265
液压图形符号 (2009)	278
参考文献	294



项目一 认识气压传动

学习导航

气压传动控制技术简称为气动技术，它广泛应用在生产自动化的各个领域。气压传动是以压缩空气为工作介质进行能量传递和控制的一种传动形式。本项目主要通过对剪切机气压传动系统（简称气动系统）以及送料装置的设计与操作的介绍达到如下的目标。

知识目标

- (1) 知道气动系统的组成、特点及工作原理。
- (2) 了解压缩空气的压力与湿度基础知识。
- (3) 知道气动元件的功能，能说出其工作原理。

技能目标

- (1) 会识别和选用气动元件。
- (2) 能绘制简单的气动系统控制回路图。
- (3) 能根据元件的功能设计送料装置气动系统，并能进行相关的调试运行。

任务一 认识气压传动系统

本任务要求能读懂图 1-1 所示气动剪切机的工作原理图，了解气动系统的组成，并能说出其工作原理，同时知道空气的压力表示方法。

知识链接 1 气压传动系统的组成

一、气源装置

产生、处理和贮存压缩空气的设备称为气源设备。它为气动系统提供符合质量要求的压缩空气，是气动系统的一个重要组成部分。典型的气源装置的组成如图 1-2 所示。

空气压缩机1用以产生压缩空气,由电动机驱动。压力开关7根据压力的大小控制电动机的启动和停转。启动空气压缩机后,空气经压缩,其压力和温度同时升高,高温高压气体进入冷却器10降温冷却,经过油水分离器11除去凝结的水和油,最后存入储气罐12。在后冷却器、油水分离器、储气罐等器件的最低处,都设有自动排水器5,排掉凝结的油、水等污染物。

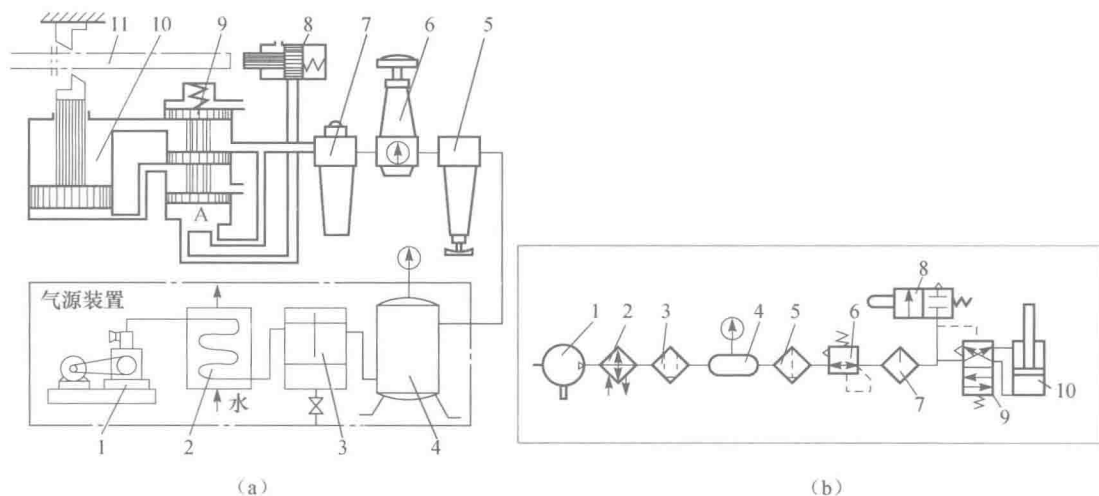


图 1-1 气动剪切机的结构及工作原理图

(a) 结构及工作原理图; (b) 图形符号表示的工作原理图

- 1—空气压缩机; 2—冷却器; 3—油水分离器; 4—储气罐; 5—空气过滤器; 6—减压阀; 7—油雾器;
8—行程阀; 9—气动换向阀; 10—气缸; 11—工料

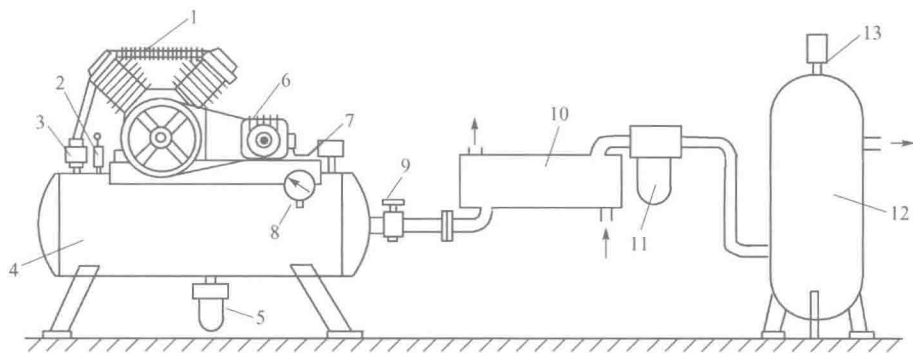


图 1-2 典型的气源装置

- 1—空气压缩机; 2、13—安全阀; 3、9—单向阀; 4、12—储气罐; 5—自动排水器; 6—电动机;
7—压力开关; 8—压力表; 10—冷却器; 11—油水分离器



空气压缩机

二、执行元件

执行元件是气动系统的末端机构,是将气体的压力能转换成机械能的一种能量转换装置,它包括实现直线往复运动的气缸和实现连续回转运动或摆动的气动马达或摆动马达等。



1. 单作用活塞式气缸

单作用活塞式气缸是指压缩空气仅在气缸的一端进气推动活塞运动，而活塞的返回则借助其他外力，如重力、弹簧力。

单作用活塞式气缸有弹簧压回型和弹簧压出型，如图1-3(b)所示。压回型是A口进气，气压力驱动活塞克服弹簧力和摩擦力使活塞杆伸出；A口排气，弹簧力使活塞杆缩回。压出型是A口进气，活塞杆缩回；A口排气，弹簧使活塞杆伸出。

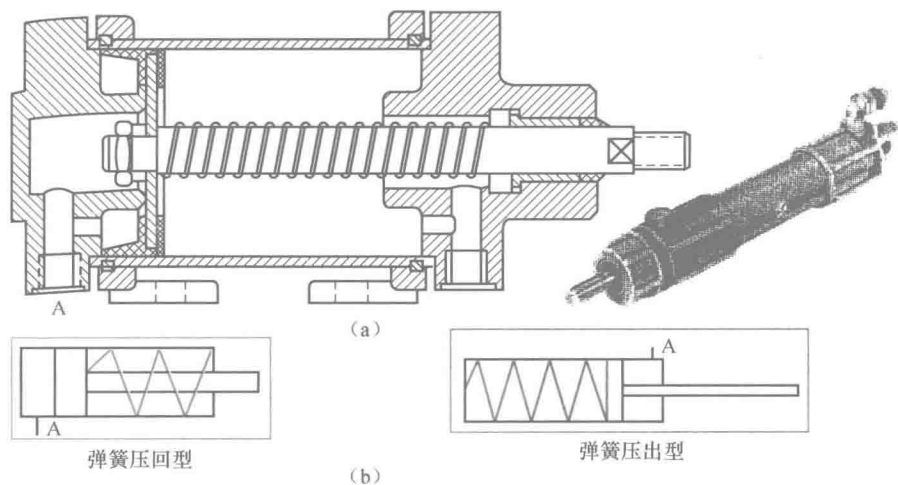


图1-3 单作用活塞式气缸的结构示意图与图形符号

(a) 结构示意图；(b) 图形符号

单作用活塞式气缸的特点如下：

- ① 由于单边进气，故结构简单，耗气量小；
- ② 缸内安装了弹簧，缩短了活塞的有效行程；
- ③ 弹簧的弹力随其变形大小而发生变化，故活塞杆推力和运动速度在行程中有变化；
- ④ 弹簧具有吸收动能的能力，因而可减小行程终端的撞击作用。

单作用活塞式气缸一般用于行程短且对输出力和运动速度要求不高的场合，如定位和夹紧装置等。

当气缸工作时，活塞杆上输出的推力必须克服弹簧的弹力及各种阻力，推力公式为

$$F = \frac{\pi}{4} D^2 p \eta - F_1 \quad (1-1)$$

式中 F ——活塞杆的推力（工作负载）(N)；

D ——活塞直径 (m)；

p ——气缸工作压力 (Pa)；

F_1 ——弹簧弹力 (N)；

η ——考虑总阻力损失时的效率，一般 η 为 0.7 ~ 0.8。当活塞运动速度 $v \leq 0.2$ m/s 时， η 取大值；当 $v > 0.2$ m/s 时， η 取小值。

图1-3所示的单作用活塞式气缸的结构直观性强，易理解，但难于绘制。在工程实际

中,除某些特殊情况外,常用一系列标准的图形符号绘制,以表示元件的功能。目前我国
的液压与气压系统图采用《GB/T 786.1—2009》所规定的图形符号绘制。图 1-3 (b) 中分
别表示了单作用气缸的图形符号。

2. 双作用活塞式气缸

双作用活塞式气缸是使用最广泛的一种最普通的气缸,它有进、排气两个接口,利用压
缩空气的压力能使活塞杆实现两个方向的运动,如图 1-4 所示。

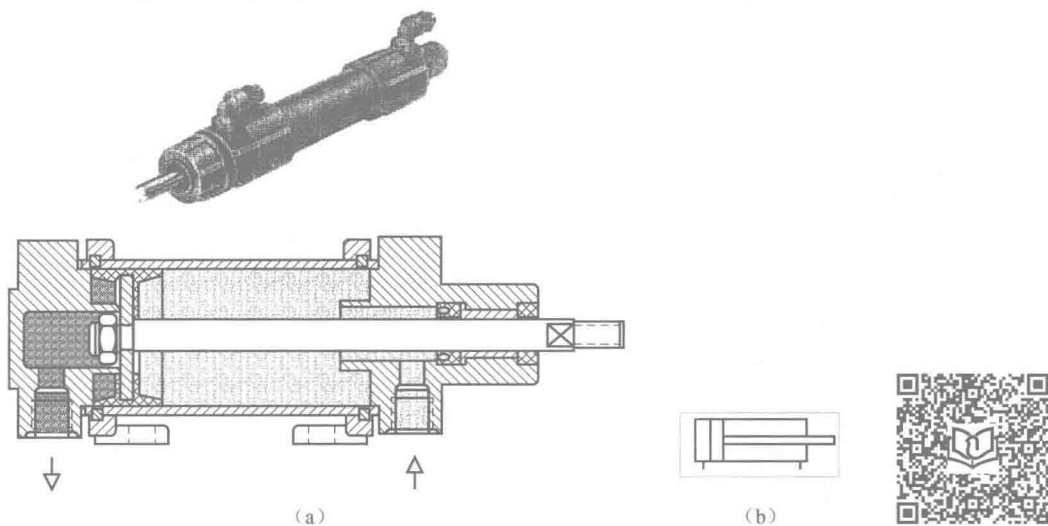


图 1-4 双作用活塞式气缸的结构示意图与图形符号

(a) 结构示意图; (b) 图形符号

双作用气缸

双作用活塞式气缸工作时,活塞杆上的输出力用下式计算。

$$F_1 = \frac{\pi}{4} D^2 p \eta \quad (1-2)$$

$$F_2 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) p \eta \quad (1-3)$$

式中 F_1 ——当无杆腔进气时,活塞杆的输出力 (N);

F_2 ——当有杆腔进气时,活塞杆的输出力 (N);

D, d ——活塞和活塞杆直径 (m);

p ——气缸工作压力 (Pa);

η ——考虑总阻力损失时的效率,一般 η 为 0.7~0.8。当活塞运动速度 $v \leq 0.2$ m/s 时, η 取大值;当 $v > 0.2$ m/s 时, η 取小值。

三、控制元件

控制元件用于控制压缩空气的压力、流量和流动方向,以便使执行元件完成预定的工作
循环。它包括各种方向控制阀、压力控制阀和流量控制阀。

(一) 方向控制阀

能改变气体流动方向或通断的控制阀称为方向控制阀。方向控制阀分为单向阀和换



向阀。

1. 单向阀

有两个通口，气流只能向一个方向流动而不能反方向流动的阀称为单向阀。

为了防止因气源压力下降或因耗气量增大造成的压力下降而出现逆流，在储气罐的输出端近处必须安装单向阀。单向阀只允许压缩空气单方向流动，而不允许其逆向流动。

单向阀主要是利用圆锥、圆球、盘片或膜片作为止回块。单向阀的工作原理如图 1-5 所示。当气体正向流动时，进口气压推动止回块的力大于作用在止回块上的弹簧力，阀芯被推开，形成流通状态。而当压缩空气由输出口进入时，气体压力与弹簧力使止回块顶在阀座上而封闭了通道，气体不能流通。

单向阀的外形和图形符号如图 1-6 所示，带弹簧复位的单向阀在常态下处于常闭状态。

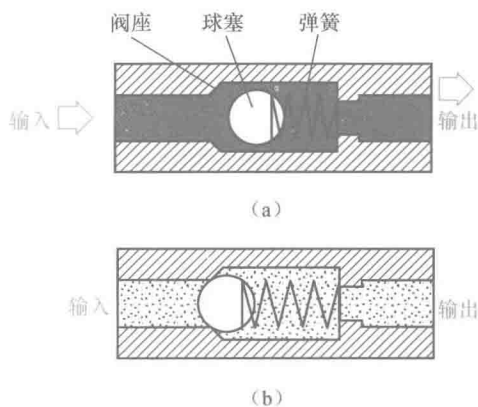


图 1-5 单向阀的工作原理图

(a) 流通时；(b) 逆流被阻挡



图 1-6 单向阀的外形与图形符号

(a) 外形；(b) 图形符号

2. 换向阀

(1) 换向阀的工作原理。

换向阀是利用阀芯和阀体相对位置的变化，控制各气口的接通或断开，以改变气体的流动方向，实现改变执行元件的运动方向的作用。

二位三通手动换向阀的工作原理如图 1-7 (a) 所示。换向阀有 3 个接口，分别是进气口 P、出气口 A 和排气口 R。在正常情况下，A、R 两接口相通，P 口堵塞；当按下推杆时，阀芯向右移动，使 P、A 两接口相通，R 口堵塞。这种换向阀的阀芯和阀体之间的运动是相对直线运动，所以也称为滑阀。

利用各种方向控制阀可以对单作用气动执行元件和双作用气动执行元件进行换向控制。如图 1-7 (c) 所示，压下二位三通手动阀，压缩空气通过换向阀的 A 口输出，进入单作用活塞式气缸，推动气缸活塞杆向右运动（杆伸出）；松开手动阀，压缩空气无法进入气缸，而气缸在活塞杆向右运动时进入的压缩空气则通过排气口 R 排出，此时，气缸活塞杆在弹簧力的作用下向左运动（杆缩回）。

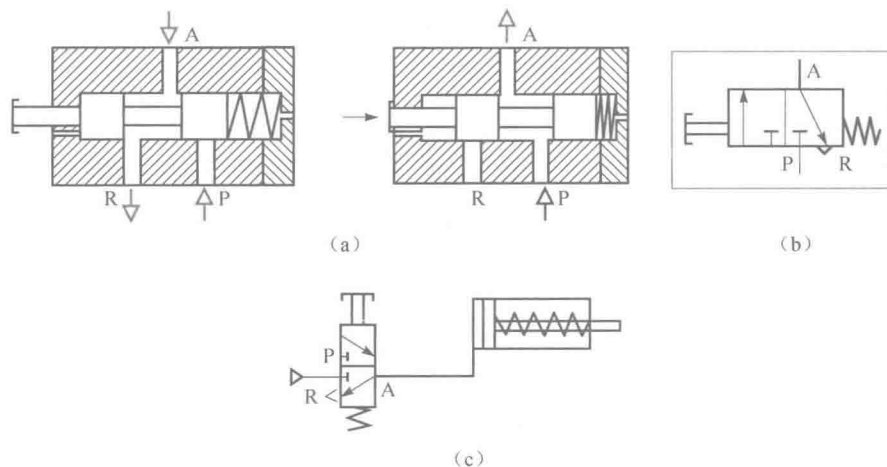


图 1-7 二位三通手动换向阀
(a) 工作原理图; (b) 图形符号; (c) 应用



方向控制-单作用
汽缸换向回路1



方向控制-单作用
汽缸换向回路2

(2) 换向阀的“位”和“通”。

“位”和“通”是换向阀的重要概念，不同的“位”和“通”构成了不同类型的换向阀。阀芯的工作位置简称“位”，阀芯有几个不同的工作位置就是几位阀。“通”表示阀体上外部通口，有几个接口，即为几通。进气口一般用 P 或 IN 表示，出气口一般用 A 或 OUT 表示，排气口与大气相通，通常用 O 或 R 表示。若无控制信号时，P 和 A 相通则称为常通式，P 和 A 断开则称为常闭式。

在换向阀的图形符号中，方格表示工作位置，两个方格表示二位，三个方格表示三位。

方格内箭头表示阀内空气的流动方向；方格内“⊥”表示空气流动通道被阻塞；方格内“△”表示与大气相通自由排放。

三位阀有 3 个工作位置，若阀芯处于中间位置（也称零位），各通口呈封闭状态，则称为中位封闭式阀；若出口与排气口相通，则称为中位泄压式阀；若出口与进口相通，则称为中位加压式阀；若在中位泄压式阀的两个出口内装上单向阀，则称为中位止回式阀。

换向阀的阀芯处于不同的工作位置时，各通口之间的通断状态是不同的。常见的二位和三位换向阀的图形符号如表 1-1 所示。

表 1-1 二位和三位换向阀的图形符号

	二位	三位			
		中位封闭式	中位泄压式	中位加压式	中位止回式
二通					
三通					
四通					
五通					



(3) 换向阀的分类。

换向阀的分类主要是依据控制方式和工作位置数、通口数进行。换向阀的控制方式如表 1-2 所示。

表 1-2 常用换向阀的控制方式与图形符号

控制方式	人力控制 (推压式)	机械控制 (滚轮式)	电磁铁控制 (单作用式)	弹簧复位	气压复位	气压控制	气动先导	电气操纵的 气动先导
图形符号								

常用换向阀的图形符号及其含义如表 1-3 所示。

表 1-3 常用换向阀的图形符号及其含义

名称	图形符号	含义
二位二通手动换向阀		二位二通方向控制阀, 推压控制机构, 弹簧复位, 常闭
二位二通电磁换向阀		二位二通方向控制阀, 电磁铁操纵, 弹簧复位, 常开
二位三通机动换向阀		二位三通方向控制阀, 滚轮杠杆控制, 弹簧复位, 常闭
二位三通电磁换向阀		二位三通方向控制阀, 电磁铁操纵, 弹簧复位, 常闭
二位三通电磁换向阀		二位三通方向控制阀, 单作用电磁铁操纵, 弹簧复位, 定位销式手动定位
二位五通人力控制换向阀		二位五通方向控制阀, 踏板控制
二位五通气动换向阀		二位五通气动方向控制阀, 单作用电磁铁, 外部先导供气, 手动操纵, 弹簧复位
三位四通电磁换向阀		三位四通方向控制阀, 双作用电磁铁直接操纵, 弹簧对中
三位五通气动换向阀		三位五通直动式气动方向控制阀, 弹簧对中, 中位时两出口都排气

(二) 压力控制阀

控制与调节压缩空气的压力大小的阀称为压力控制阀。

图 1-1 中的元件 6 为减压阀, 减压阀的作用是用来降压, 使其输出压力与气动设备所需压力一致, 并保持该压力的稳定。

四、辅助元件

使压缩空气净化、润滑、消声及用于元件间连接等所需的装置和元件称为辅助元件, 如用于元件间的连接管道、显示压力大小的压力计等。

五、工作介质

1. 压缩空气的压力

压力是由于气体分子因热运动相互碰撞, 在容器的单位面积上产生的力, 相当于物理学中的压强, 用 p 表示。即

$$p = \frac{F}{A} \quad (1-4)$$

式中 p ——压强 (N/m^2 或 Pa)。

工程中也常用 kPa (千帕)、 MPa (兆帕)、 $\text{kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ 、 bar (巴) 作为计量单位。1 $\text{kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ 称为一个工程大气压。1 $\text{MPa} = 1 \times 10^3 \text{ kPa} = 10 \text{ bar} = 10.2 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ 。

静止的气体和液体具有下列特性:

- ① 静止的气体和液体的压力, 垂直作用于气体和液体接触的表面;
- ② 静止的气体和液体中, 任一点的各个方向的压力均相等。

压力可用绝对压力、相对压力及真空度等方法来度量。绝对压力是指以绝对真空作为基准所表示的压力。相对压力是指以大气压力作为基准所表示的压力。由压力表测得的压力都是相对压力, 所以相对压力也称表压力。当绝对压力低于大气压时, 习惯上称为出现真空。因此真空度是指比大气压力小的那部分数值, 即

$$\text{真空度} = \text{大气压力} - \text{绝对压力} \quad (1-5)$$

绝对压力、相对压力和真空度的相互关系如图 1-8 所示。

2. 空气的湿度

不含水蒸气的空气称为干空气; 含有水蒸气的空气称为湿空气。空气作为传动介质, 其干湿程度对传动系统的稳定性和使用寿命都有直接影响。若空气中含有水蒸气量较大, 则此湿空气在一定的温度和压力条件下, 会在气动系统的局部管道、气动元件中凝结成水滴, 使气动元件和管道腐蚀、生锈, 缩短使用寿命, 甚至造成系统失灵。因此, 气动系统对空气的含水量有明确的规定, 并采取必要的措施防止水分进入系统。

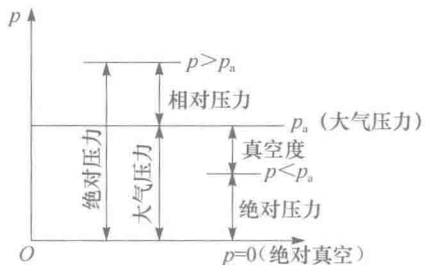


图 1-8 绝对压力、相对压力和真空度的相互关系