

SUNWODA
欣旺达

液压传动与 气动技术



深圳市第一职业技术学校
THE FIRST VOCATIONAL TECHNICAL SCHOOL OF SHENZHEN

2021届现代学徒制班

液压传动与气动技术

教研组组长 : 尹庆玲、朱建顺、刘会龙

教研组成员 : 许锦发、李维能、田其光、燕海涛、李长春、刘建华

教务组 : 蔡哲豪、刘艳玉、肖国政、胡燕妮、罗雄新

(排名不分先后)

校企合作·现代学徒制学徒手册第一版

校企合作项目组 编

出版机构 : 欣旺达大学

出版日期 : 2019-09-12

页数 : 168

开本 : 210mm*290mm

版次 : 2019年09月第一版

欣旺达电子股份有限公司

Sunwoda Electronic Co.,Ltd.

电话: 86-755-29516888

邮编: 518108

网址: <http://www.sunwoda.com>

地址: 深圳市宝安区石岩街道石龙社区颐 and 路 2 号

公司内部资料, 严禁外传。

Sunwoda confidential



目录

第一章 气动系统的基本知识	1
第一节 气动系统的概念	2
第二节 气动系统的工作原理及组成	4
第三节 气动系统的特点	8
第二章 气源装置及辅助元件	10
第一节 气源装置的组成	11
第二节 空气压缩机	12
第三节 气源的净化及净化装置	17
第四节 传输压缩空气的管道系统	29
第五节 辅助元件	31
第六节 气动真空系统基础	34
第三章 气压传动执行元件	49
第一节 气缸	50
第二节 气缸的工作特性	58
第四章 气动控制元件	62
第一节 压力控制阀	63
第二节 流量控制阀	70
第三节 方向控制阀	75
第五章 气动图形规范	92
第一节 元件的符号表示	94
第二节 控制流程图的绘制	98
第三节 气动回路的绘制	99
第六章 气动基本回路	102
第一节 压力控制回路	103
第二节 方向控制回路	104
第三节 速度控制回路	107



第四节 安全保护回路	111
第七章 气动系统实例	115
第一节 气动夹紧装置	116
第二节 拉门自动开闭系统	118
第八章 气动系统设计	120
第一节 气动系统的设计过程	121
第二节 设计时要考虑的安全问题	123
第三节 气动回路图的设计	125
第四节 单缸基本回路设计	126
第九章 气动系统维护	130
第一节 经常性的维护工作	131
第二节 定期的维护工作	132
第三节 故障诊断与对策	134
第四节 维修工作	137
第五节 气动维护案例	139
第十章 液压系统流体力学基础	157
第一节 液压传动的工作原理及其组成	158
第二节 液压传动的优缺点及应用	161



第一章 气动系统的基本知识

[教学目标]

- (1) 了解气动系统的用途及其原理、组成
- (2) 了解气动系统的特点

[教学大纲]

本章主要介绍了机电一体化系统中传动系统之一：气压传动。重点是要学员了解气动系统的组成、工作原理、特点及其应用场合。



第一节 气动系统的概念

一、何谓气动

流体动力系统是通过压力油或压缩气体来传递和控制能量的一种系统。

在气动系统中，这种能量的介质就是压缩空气。把大气中的空气的体积加以压缩，从而提高它的压力。通过对活塞或叶片做功来得到压缩空气。正确运用气动控制，要求充分熟悉气动元件及其基本回路。

本书介绍控制系统中气动元件的有关功能、元件的符号和使用方法。还介绍了空气处理过程及基本的气动回路等。

二、气动的用途

气动系统的用途是极其广泛的，下面简单列举气动控制工作的广泛性和多样及连续不断地在产业中被推广应用的情况。

- ①. 用于化工产品的生产中；
- ②. 人不宜到达的地方如高温和危险的劳动；
- ③. 用于高速重复的运动机械中；
- ④. 农业设备、食品业、机械行业的剪、切、铆等等；
- ⑤. 医学领域、机器人、太空设备中等。

三、气动压力的定义及单位

在一般情况下，压力是空间坐标和时间的标量函数。流体中一点的压力又称为该点流体的静压，也即单位面积上所受的力称为压力（必须注意，它在物理学中称为压强）。压力通常用 P 表示。

2. 压力的单位

(1) 在国际单位制(SI)中，压力的单位为 N/m^2 ，即 Pa(帕斯卡)，由于 Pa 单位太小，因而常采用 KPa(千帕)和 MPa(兆帕)

$$1MPa = \quad KPa = \quad Pa$$

(2) 在重力单位制中(工程中常使用)，压力的单位采用 bar(巴)和 Kg/cm^2 (千克力每

平方厘米)

$$1\text{bar}=1.02\text{kgf}/\quad =0.1\text{Mpa}=14.5\text{psi}(\text{磅/平方英寸})$$

3. 压力的表示方法

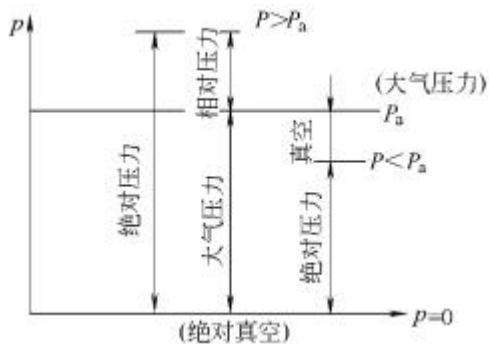


图 1-1 绝对压力/相对压力及真空度

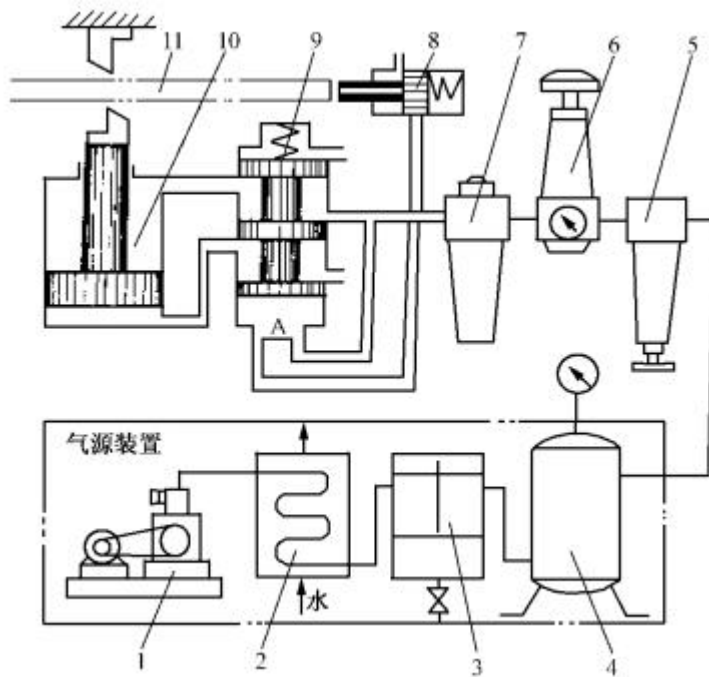
通常用压力计测得的压力是以大气压力为基准的压力值，称为相对压力或表压力。以 $p=0$ (完全真空) 绝对真空作为基准所表示的压力称为绝对压力。当绝对压力小于大气压力时，大气压力与绝对压力之差称为真空压力或真空度。相对压力是以大气压力作为基准所表示的压力，由测压仪表所测得的压力都是相对压力。因此相对压力=绝对压力-大气压力。绝对压力、表压力和真空度的关系见图 1-1。

第二节 气动系统的工作原理及组成

一、气压传动系统的工作原理

为了对气动系统有一个概括了解，现以气动剪切机为例，介绍气动系统的工作原理。

图 1-2 为气动剪切机的工作原理图，图示位置为剪切前的预备状态。



空气压缩机 1 产生的压缩空气，经过冷却器 2、油水分离器 3 进行降温及初步净化后，送入贮气罐 4 备用；压缩空气从贮气罐引出先经过分水滤气器 5 再次净化，然后经减压阀 6、油雾器 7 和气控换向阀 9 到达气缸 10。此时换向阀 A 腔的压缩空气将阀心推到上位，使气缸上腔充压，活塞处于下位，剪切机的剪口张开，处于预备工作状态。当送料机构将工料 11 送入剪切机并送到规定位置时，工料将行程阀 8 的阀心向右推动，行程阀将换向阀的 A 腔与大气连通。换向阀的阀心在弹簧的作用下移到下位，将气缸上腔与大气连通，气缸下腔与压缩空气连通。压缩空气驱动活塞带动剪刀快速向上运动将工料切下。

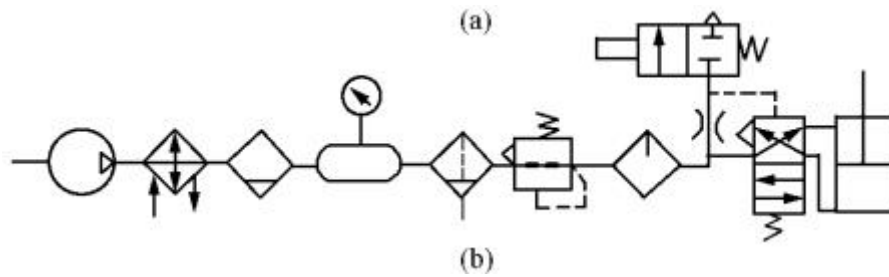


图 1-2 气动剪切机原理图

(a) 结构原理图 (b) 图形符号图

- 1—空气压缩机 2—冷却器 3—油水分离器 4—贮气罐
5—分水滤气器 6—减压阀 7—油雾器 8—行程阀
9—气控换向阀 10—气缸 11—工料

工料被切下后即与行程阀脱开，行程阀阀心在弹簧作用下复位，将换向阀 A 腔的排气通道封闭。换向阀 A 腔压力上升，阀心移至上位，使气路换向。气缸下腔排气，上腔进入压缩空气，推动活塞带动剪刀向下运动，系统又恢复到图示的预备状态，待第二次进料剪切。

气路中行程阀的安装位置可以根据工料的长度进行左右调整。换向阀是根据行程阀的指令来改变压缩空气的通道使气缸活塞实现往复运动。气缸下腔进入压缩空气时，活塞向上运动将压缩空气的压力能转换为机械能使剪切机构切断工料。此外，还可根据实际需要，在气路中加入流量控制阀，控制剪切机构的运动速度。

二、气压传动系统的组成

由图 1-2 和图 1-3 可见，完整的气压传动系统主要由以下四种装置组成：

(1) 气源装置气源装置即压缩空气的发生装置，其主体部分是空气压缩机（简称空压机）。它将原动机(如电动机)的机械能转换为空气的压力能并经净化设备净化，为各类气动设备提供洁净的压缩空气。

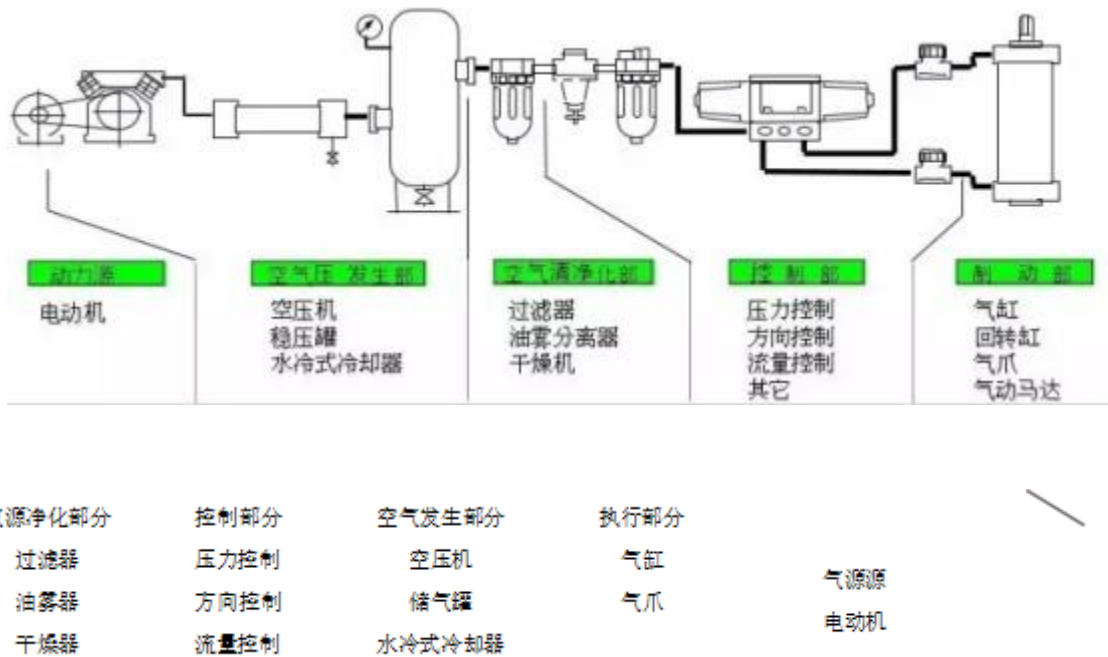


图 1-3 气动系统组成示意图

(2) 执行机构是系统的能量输出装置，如气缸和气马达，它们将气体的压力能转换为机械能，并输出到工作机构上去。

(3) 控制元件即用以控制调节压缩空气的压力、流量、流动方向以及系统执行机构的工作程序的元件，如压力阀、流量阀、方向阀和逻辑元件等。

(4) 辅助元件系统中除上述三类元件外，其余元件称辅助元件，如各种过滤器、油雾器、消声器、散热器、传感器、放大器及管件等。它们对保持系统可靠、稳定和持久地工作起着十分重要的作用。

(一) 压缩空气产生系统

(1) 压缩机常压下的空气被压缩并以较高的压力输送给气动系统。这样就把机械能转变为气压能。

(2) 电动机给压缩机提供机械能，它是把电能转变成机械能。

(3) 压力开关将储气罐内的压力信号用来控制电动机，它被设定一个压力范围，达到压力上限就停止电动机，储气罐内压力跌到压力下限就重新启动电动机。

(4) 单向阀让压缩空气从压缩机进入气罐，当压缩机关闭时，阻止压缩空气反方向流动。



(5) 储气罐贮存压缩空气。它的尺寸大小由压缩机的容量来决定，储气罐的容积愈大，压缩机运行时间间隔就愈长。

(6) 压力表显示储气罐内的压力。

(7) 自动排水器无需人手操作，排掉凝结在储气罐下部的水。

(8) 安全阀当储气罐内的压力超过允许限度，可将压缩空气排出，起保护作用。

(9) 冷冻式空气干燥器将压缩空气制冷到零上若干度，使大部分空气中的湿气凝结。这就免除了后面系统中的水分。

(10) 主管道过滤器在主要管路中，主管道过滤器必须具有最小的压力降和油雾分离能力。它能滤除管道内的灰尘、水分和油污。

(二) 压缩空气消耗系统

(1) 压缩空气的输出压缩空气要从主管道顶部输出，以便残留的凝结水仍留在主管道里，当压缩空气达到低处时，水流到管子的下部，流入自动排水器内，将凝结水去除。

(2) 自动排水器每一根下接管的末端都应有一个排水器，最有效的方法是用一个自动排水器，将留在管道里要用人工排掉的水自动排掉。

(3) 空气处理元件使压缩空气保持清洁和合适压力，以及加润滑油到需要润滑的零件中以延长这些气动元件的使用寿命。

(4) 方向控制阀通过对气缸两个接口交替地加压和排气，来控制气缸运动的方向。

(5) 执行元件把压缩空气的压力能转变为机械能，可以是直线气缸，也可以是回转执行元件或气动马达等。

(6) 速度控制阀能简便实现执行元件的无级调速。



第三节 气动系统的特点

一、气动系统的优点

(1) 适用性大多数工厂和车间在作业区备有压缩空气源，移动式压缩机可用在更远的场合。

(2) 贮存按需要容易地贮存大容量的压缩空气。

(3) 设计和控制简单使用气动元件属于简单设计，因而容易适合控制较简单的自动系统。与液压传动相比，气压传动反应快，动作迅速，一般只需 0.02-0.03S 就可建立起需要的压力和速度；因此，它特别适用于实现系统的自动控制。调节控制方便，既可组成全气动控制回路，也可与电气、液压结合实现混合控制。

(4) 运动的选择气动元件易于实现无级调速的直线和回转运动。

(5) 经济由于气动元件价格合适，整套装置费用较低，而且气动元件寿命长，不需要维修，所以维护费用较低。

(6) 可靠性气动元件有很长的工作寿命，所以系统有很高的可靠性。

(7) 恶劣环境适应性压缩空气很大程度上不受高温、灰尘、腐蚀的影响，这一点是别的系统所不能及的。

(8) 环境干净气动元件是清洁的，并有特殊的排出空气处理方法，可装入标准的洁净车间内。

(9) 安全性在危险场所不会引起火灾，若系统过载则执行元件只会停止或打滑。气动执行元件不会发热。

二、气动系统的缺点

(1) 由于空气具有可压缩性，载荷变化时运动平稳性稍差。

(2) 因工作压力低，不易获得较大的输出力或转矩；因此，气压传动不适于重载系统。

(3) 有较大的排气噪声。

(4) 因空气无润滑性能，故在气路中有时应设置给油润滑装置。

(5) 气动装置中的信号传递速度仅限于声速范围内，比光、电信号慢，故不宜用于信号传递速度要求十分高的场合。同时，实现生产过程的遥控也较困难。

(6) 气动系统有泄漏，这是能量的损失。一定量的外泄漏也是允许的。但应尽可能减



少泄漏。

[思考与练习题]

1. 气动系统是如何实现, 能量, 转换的?
2. 气动系统主要由哪几个部分组成, 举例说明?
3. 简述气动系统的主要特点。
4. 观察你周围的事物, 举例说明气动系统的工作原理。
5. 常用的压力单位有哪些

[本章小结]

本章主要介绍了机电一体化系统中传动系统之一：气压传动。重点是要学员了解气动系统的组成、工作原理、特点及其应用场合。

一般而言, 气动系统主要由两大部分组成: , 压缩空气产生系统, 和, 压缩空气消耗系统。前者主要指气源装置 (如压缩机、电动机、压力开关、储气罐、压力表、自动排水器、安全阀等) 及一部分辅助元件 (如压力表、过滤器、干燥器、主管道过滤器等)。后者主要指执行机构 (如气缸和气马达)、控制元件 (如压力阀、流量阀、方向阀和逻辑元件等) 及部分辅助元件 (如各种过滤器、油雾器、消声器、散热器、传感器、放大器及管件等)。由于气动系统具有防火、防电 (静电)、容易取得、洁净、对周围环境影响较小等特点, 所以在很多场合 (尤其是, 无尘室, 防静电室) 应用很多。同时, 在自动化工业生产系统中, 气压传动应用越来越普遍。



第二章 气源装置及辅助元件

[教学目标]

- (1) 了解气源装置各个组成及其用途
- (2) 了解空压机的分类、特点、原理及其选用
- (3) 了解气源的处理过程及各处理器的分类、特点、原理及其选用
- (4) 了解压缩空气的传送系统及其附件
- (5) 了解真空系统组成及工作原理

[教学大纲]

本章主要介绍气源装置，包括压缩机，储气罐，干燥器，后冷器，气动三联件，管道等，另外重点介绍真空系统的组成、工作原理、特点及其应用场合。带领学员参观工厂空气压缩站，实践中加深对气动系统的认知。

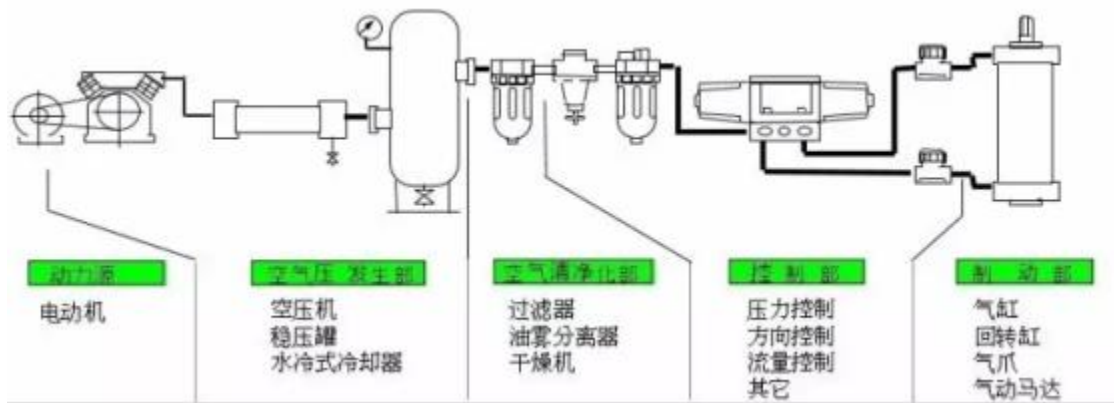
第一节 气源装置的组成

气源装置的作用是为气动设备提供符合需要的压缩空气。由空气压缩机产生的压缩空气必须经过降温、净化等一系列处理以后才能用于气压传动系统。因此，除空气压缩机外，气源装置还包括干燥机、过滤器、冷却器及气罐等。此外，气动设备除执行元件和控制元件以外还需要各种辅助元件，如油雾器、消声器等。

气动系统对压缩空气的主要要求是：具有一定压力和流量，并具有一定的净化程度。

气源装置一般由以下几个部分组成，如图 2-1 所示。

- (1) 气源部分（压缩机）
- (2) 储存装置（储气罐）
- (3) 气源净化部分（主路过滤器、干燥机、油雾分离器）



(4) 处理部

控制部分	执行部分	气源净化部分	空气发生部分	气源源
压力控制	气缸	过滤器	空压机	电动机
方向控制	气爪	油雾器	储气罐	
流量控制		干燥机	水冷式冷却器	

分（简称三联件：过滤器、调压阀、

油雾器）

图 2-1 气源系统组成示意图

第二节 空气压缩机

工厂气动系统的主体是空气压缩机，压缩机能将电机或内燃机的机械能转化为压缩空气的压力能。除此之外还有对压缩空气进行各种处理的辅助元件，因为虽然在压力、流量方面满足了气压传动的要求，但压缩空气中的水分、杂质、油气等尚未去除。另外，部分气动装置需油润滑。

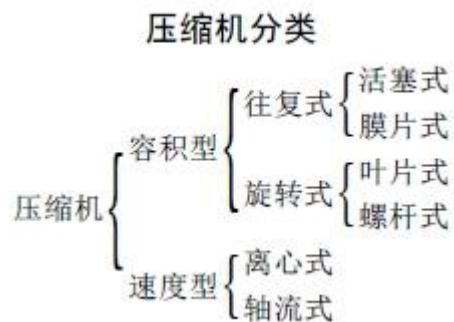
一、空气压缩机的分类

空气压缩机的种类很多，按照国家标准的规定分为容积型和速度型两大类(见表 2-1)。若按空压机的公称排气压力范围来分，则有低压式 (0.2~1MPa)、中压式 (1~10MPa)、高压式 (10~100MPa) 和超高压式 (>100MPa) 等。

容积型空压机是通过机件的运动，使密封容积发生周期性大小的变化，从而完成对空气的吸入和压缩过程。这种空压机又有几种不同形式，如活塞式、螺杆式、叶片式等。其中最常用的是活塞式低压空压机。

速度型空压机的原理是利用转子或叶轮的高速旋转使空气产生高速度具有高动能，再使气流速度降低，将动能转化为压力能。

空气压缩机的分类如下：



二、往复式压缩机

(一) 单级活塞式压缩机

单级活塞式压缩机(见图 2-2)只需一个行程就将吸入的大气压空气压缩到所需要的压力。活塞 3 下移，气缸容积 2 增加，缸内压力小于大气压，空气便从进气阀门 8 进入缸内。在行程末端，活塞向上运动，进气阀关闭，空气被压缩，而同时出气阀 1 被打开，输

出空气进入储气罐。

当气缸内的容积增大时，活塞无杆腔的压力低于大气压力 P_0 ，吸气阀开启，外界空气吸入缸内，这个过程称为吸气过程。当缸内压力高于输出空气管道内压力 P 后，排气阀打开，压缩空气送至输气管内，这个过程称为排气过程。活塞的往复运动是由电动机的曲柄滑块机构形成的。曲柄旋转运动转换为活塞的往复运动。

带这种结构的压缩机在排气过程结束时总有剩余容积存在。在下次吸气时，剩余容积内的压缩空气会膨胀，从而减少了吸入的空气量，降低了效率，增加了压缩功。且由于剩余容积的存在，当压缩比增大时，温度急剧升高。故当输出压力较高时，应采取分级压缩。

分级压缩可降低排气温度，节省压缩功，提高容积效率，增加压缩气体排气量。

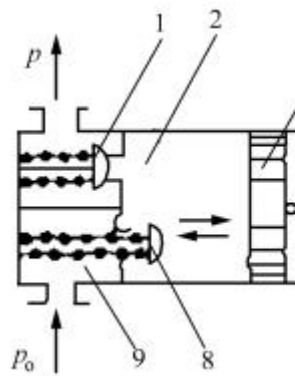
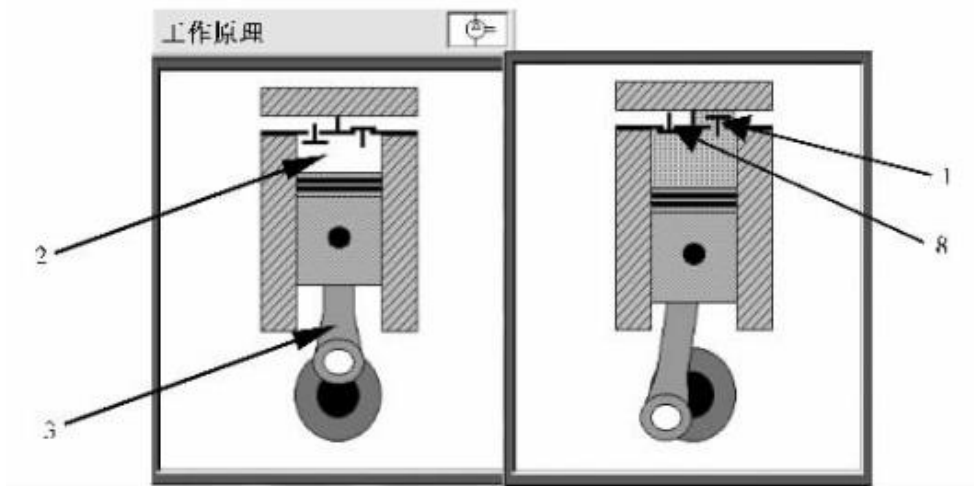


图 2-2 单级活塞式压缩机

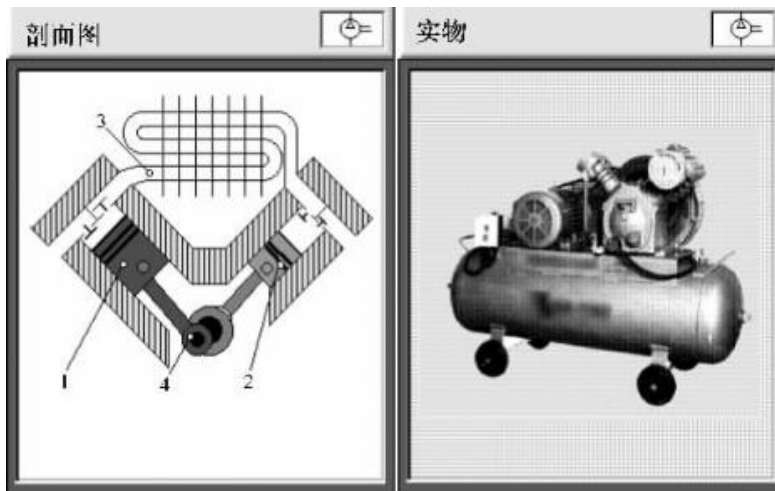
- 1—排气阀 2—气缸 3—活塞 4—活塞杆 5—滑块
6—连杆 7—曲柄 8—吸气阀 9—阀门弹簧

这种型式的压缩机通常用于需要压力范围的系统。

(二) 两级活塞式压缩机

在单级压缩机中,若空气压力超过 $6 \times 10^5 \text{Pa}$,产生的过热将大大地降低压缩机的效率。因此,工业中使用的活塞式压缩机通常是两级的(见图 2-3)。由两个阶段将吸入的大气压空气压缩到最终的压力。

如果最终压力为 $7 \times 10^5 \text{Pa}$,第一级气缸通常将它压缩到 $3 \times 10^5 \text{Pa}$,然后被冷却,再输送到第二级气缸中压缩到 $7 \times 10^5 \text{Pa}$ 。压缩空气通过中间冷却器后温度大大下降,再进入第二级气缸。因此,相对于单级压缩机提高了效率。最后输出的温度约在 120°C 。活塞式空压机的优点是结构简单,使用寿命长,并且容易实现大容量和高压输出。缺点是振动大,



噪声大,且因为排气为断续进行,输出有脉动,需要贮气罐。

图 2-3 两级活塞式压缩机

1-第一级气缸 2-第二级气缸 3-冷却管道 4-活塞

(三) 螺杆式压缩机



图 2-4 螺杆式空压机

螺杆式空压机的工作原理如图 2-4 所示。在壳体中装有一对互相啮合的螺旋转子,其中一根转子具有凸面齿形,另一根转子具有凹面齿形,两根转子之间及壳体三者围成的空间,在转子回转过程中沿轴向移动,其容积逐渐减小。这样,从进口吸入的空气逐渐被压

缩，并从出口排出。此类压缩机可连续输出流量超过 $400\text{m}^3/\text{min}$ ，压力高达 $10 \times 10^5\text{Pa}$ 。和叶片式压缩机相比，此类压缩机能输送出连续的无脉动的压缩空气。

螺杆式空压机需要加油进行冷却、润滑及密封，所以在出口处也要设置油分离器。

螺杆式空压机的优点是排气压力脉动小，输出流量大，无需设置贮气罐，结构中无易损件，寿命长，效率高。缺点是制造精度要求高，运转噪声大。且由于结构刚度的限制，只适用于中低压范围使用。

（四）叶片式空压机

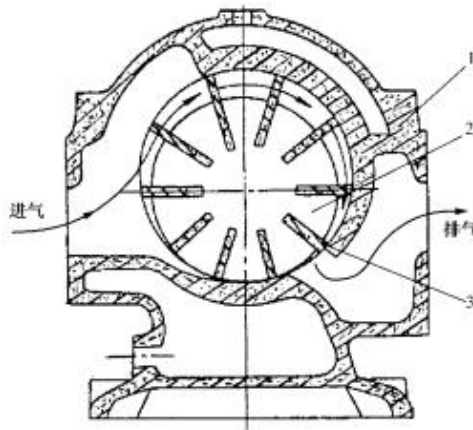


图 2-5 叶片式空压机工作原理

1-机体 2-转子 3-叶片

叶片式空压机的工作原理如图 2-5 所示。把转子偏心安装在定子（机体）内，叶片插在转子的放射状槽内，叶片能在槽内滑动。左半周叶片逐渐外伸，空间逐渐增大吸气。右半周叶片、转子和机体内壁构成的容积空间在转子回转过程中逐渐变小，由此从进气口吸入的空气就逐渐被压缩排出。这样，

在回转过程中不需要活塞式空压机中具有吸气阀和排气阀。在转子的每一次回转中，将根据叶片的数目多次进行吸气、压缩和排气，所以输出压力的脉动小。

通常情况下，叶片式空压机需采用润滑油对叶片、转子和机体内部进行润滑、冷却和密封，所以排出的压缩空气中含有大量的油分。因此在排气口需要安装油分离器和冷却器，以便把油分从压缩空气中分离出来进行冷却并循环使用。

通常所说的无油空压机，是采用石墨或有机合成材料等自润滑材料作为叶片材料。运转时无需添加任何润滑油，压缩空气不被污染，满足了无油化的要求。此外，在进气口设置空气流量调节阀，根据排出气体压力的变化自动调节流量，使输出压力保持恒定。

叶片式空压机的优点是能连续排出脉动小的额定压力的压缩空气，所以一般无需设置



贮气罐，并且结构简单，制造容易，操作维修方便，运转噪声小。缺点是叶片、转子和机体之间机械摩擦较大，产生较高的能量损失，因而效率较低。

三、空压机的选择

选择空压机的根据，是气动系统所需要的工作压力和流量两个主要参数。

活塞式空压机适用的压力范围大，特别适用于压力较高的中小流量场合。目前仍是应用最广泛的一种空压机。螺杆式、离心式空压机运转平稳，排气均匀。用于气压传动是较新的具有发展前途的空压机。螺杆式适用于低压力，中、小流量的场合，离心式则适用于低压力大流量的场合。叶片式空压机适用于低、中压力，中、小流量的场合。

第三节 气源的净化及净化装置

一、气源的净化

在气源装置中使用的空压机，一般多为低压活塞式，此类空压机需用油润滑。由空压机排出的压缩空气温度很高（在 140~170℃之间），因此使部分润滑油及空气中的水分汽化；再加上从空气中吸入的灰尘，就形成了由油气、水蒸气和灰尘混合而成的杂质。这些杂质若被带进气动系统中，就会产生下述极坏的影响：

①油气聚集在气罐内，形成易燃物甚至形成爆炸混合物。同时油分被高温气化后会形成一种有机酸，对金属设备有腐蚀作用。

②由水、油、灰尘形成的混合物沉积在管道内或元件中，使流通面积减小，增大了气流阻力或者造成堵塞，致使整个系统工作不稳定甚至控制失灵。

③在冰冻季节，会使管道及附件因冻结而损坏，或使气路不畅通，或产生误动作。

④灰尘等固体杂质会引起缸、马达、阀等相对运动表面间的严重磨损，从而破坏密封，增加泄漏，降低设备的使用寿命。

由此可见，在气源系统中设置干燥、除水及除尘等净化装置是十分必要的。在某些要求高的场合，压缩空气还必须经过多次净化后方能使用。

二、气源净化装置

气源的净化方法及设备有多种类型。下面介绍几种最常用的气源净化装置，包括：后冷却器、油水分离器、储气罐、干燥器、过滤器。

（一）后冷却器

后冷却器安装在空压机排气口处的管道上。它的作用是将空压机排出的压缩空气温度由 120~180℃降至 40~50℃，使压缩空气中的油雾和水汽迅速达到饱和而大部分析出，凝结成水滴和油滴，以便经油水分离器排出。后冷却器上应装有自动排水器，以排除冷凝水和油滴等杂质。

后冷却器分为风冷式和水冷式两种，且都已形成系列产品。

1. 风冷式后冷却器

风冷式后冷却器的工作原理见图 2-6。从空压机排出的压缩空气进入冷却器后，经过较长而且多弯曲的管道进行冷却后从出口排出。为了增强散热效果，压缩空气从切向进入

分离器。压缩空气出口的温度比室温约高 15℃。

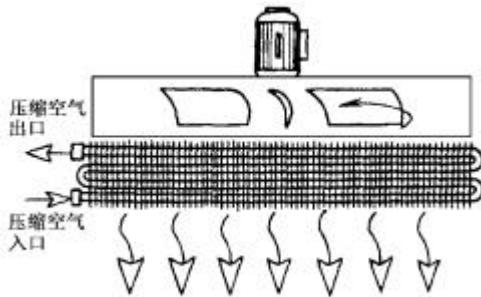


图 2-6 风冷式后冷却器工作原理图

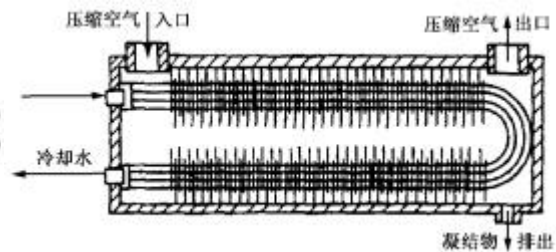


图 2-7 水冷式后冷却器工作原理图

2. 水冷式后冷却器

图 2-7, 为水冷式后冷却器的工作原理图。水冷式是通过强迫冷却水沿压缩空气流动的反方向流动来进行冷却。冷却器的壳体是个高压容器, 在壳体内排有冷却水管, 水管外壁装金属翅片, 以增强冷却效果。在冷却过程中产生的冷凝水通过排水器排出。在此种冷却器上应安装安全阀、压力表。最好还安装上水和空气的温度计。水冷式后冷却器适用的进口压缩空气的最高温度为 180~200℃, 压力为 0.8~1MPa。冷却后出口压缩空气的温度比冷却水温度最多高出约 10℃。

(二) 油水分离器

油水分离器的作用是分离压缩空气中凝聚的水分、油分和灰尘等杂质, 使压缩空气得到初步净化。其结构形式有环形回转式、撞击并折回式、离心旋转式、水浴式及各种形式的组合使用等。

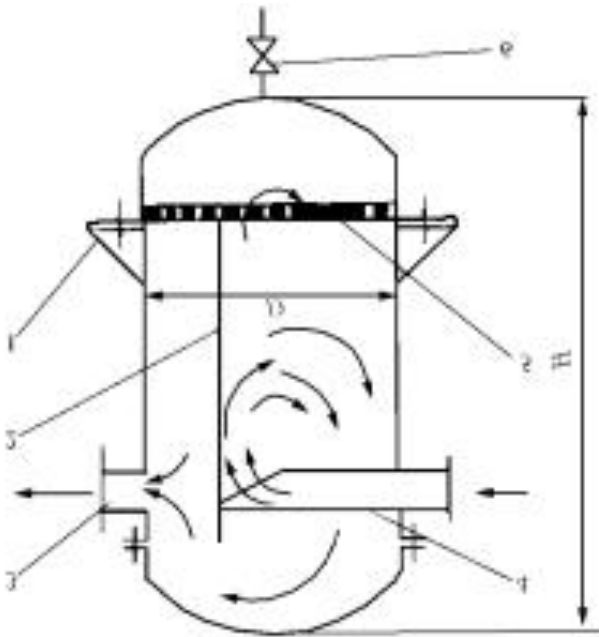


图 2-8 撞击和环形回转式油水分离器

1—支架 2—隔板 3—输出管 4—进气管 5—栅板 6—放油、水阀

1. 撞击和环形回转式油水分离器

经常采用的是使气流撞击并产生环形回转流动的油水分离器，其结构如图 2-8 所示。其工作原理是：当压缩空气由进气管 4 进入分离器壳体以后，气流先受到隔板 2 的阻挡，被撞击而折回向下；之后又上升并产生环形回转（见图中箭头所示流向），最后从输出管 3 排出。与此同时，在压缩空气中凝聚的水滴、油滴等杂质，受惯性力的作用而分离析出，沉降于壳体底部，由放油、水阀 6 定期排出。

为提高油水分离的效果，气流回转后上升的速度不能太快，一般不超过 1m/s 。通常油水分离器的高度 H 为其内径 D 的 $3.5\sim 5$ 倍。

2. 水浴式油水分离器

其结构如图 2-9 左图所示。压缩空气从管道进入分离器底部，经水洗后，产生强烈旋转，使压缩空气中的水滴、油滴等杂质，在惯性力作用下被分离出来而沉降到容器底部，再由排污阀定期排出。在气源系统中，油水分离器最好设置两套，替换使用以便排除污物和清洗。

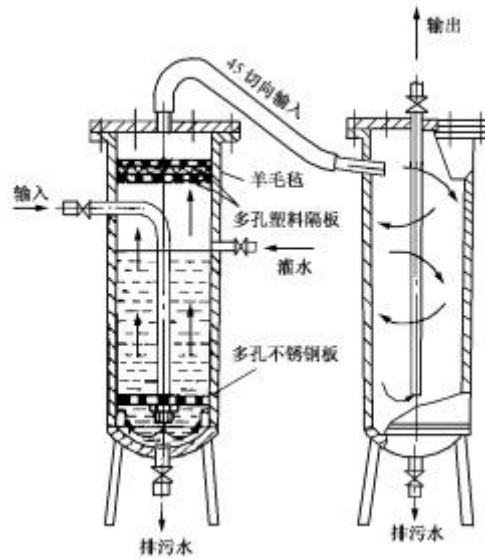


图 2-9 水浴式油水分离器

(三) 贮气罐

贮气罐有卧式和立式之分，它是钢板焊接制成的压力容器，水平或垂直地安装在后冷却器后面来储存压缩空气，因此，可以减少空气流的脉动。

1. 贮气罐的作用

①贮存一定数量的压缩空气，同时也是应急动力源，以解决空压机的输出气量和气动设备的耗气量之间的不平衡。尽可能减少压缩机经常发生的, 满载, 与, 空载, 现象。

②消除空压机排气的压力脉动，保证输出气流的连续性和平稳性。

③进一步分离压缩空气中的油、水等杂质。

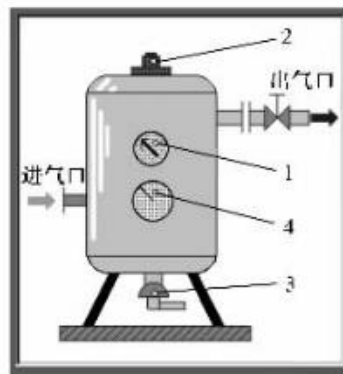


图 2-10 立式贮气罐结构

1—压力表 2—安全阀 3—阀门 4—人（手）孔

2. 贮气罐结构

贮气罐一般多采用焊接结构，以立式居多，其结构形式见图 2-10

罐的高度一般为其内径的 2~3 倍。进气口在下，出气口在上，并尽可能加大两管口之间的距离，以利于充分分离空气中的杂质。罐上设安全阀 2，其调整压力为工作压力的 110%；装设压力表 1 指示罐内压力；设置人孔或手孔 4，以便清理检查内部；底部设排放油、水的接管和阀门 3。最好将贮气罐放在阴凉处。

3. 计算选择储气罐的大小

储气罐的尺寸大小根据压缩机的输出量，系统的尺寸大小以及对未来需求量的变化的预测来确定。

对工厂来说，计算储气罐尺寸的原则是：

储气罐容量≈压缩机每分钟压缩空气的输出量。

例如，压缩机输出 $18\text{m}^3/\text{min}$ 的流量（自由空气），平均压力为 $7 \times 10^5\text{Pa}$ ，因此压缩空气每分钟输出量为 $18000/8 \approx 2250\text{L}$ （上述的平均压力一般是指 2 表 2 压力，它不包括大气压力，假设大气压力为 $1 \times 10^5\text{Pa}$ ，计算时压力值 0 平均压力 1 大气压力），即容积为 2250L 的储气罐是合适的。

（四）空气干燥器

后冷却器将空气冷却到比冷却媒介高 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ 。气动系统控制和操作元件的温度通常为室温（大约 20°C ）。但是，离开后冷却器的空气温度比管道输送的环境温度高，在输送的过程中将进一步冷却压缩空气，还有水蒸气凝结成水。

用于干燥空气的方法是降低露点，到这个温度，空气完全使湿气达到饱和（即 100% 相对湿度）。露点越低，留在压缩空气中的水分就越少。

有三种主要型式的空气干燥器：吸收式、吸附式和冷冻式。

1. 吸收式和吸附式干燥器的模型（见图 2-11、图 2-12.）

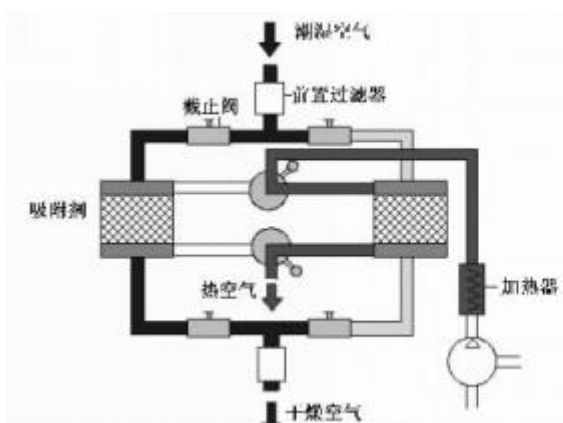


图 2-11 吸收式干燥器的模型

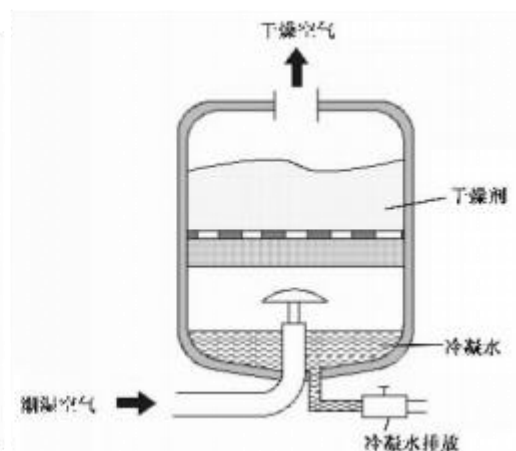


图 2-12. 吸附式干燥器的模型

吸附式干燥器是用吸附法，就是利用具有吸附性能的吸附剂（如硅胶、铝胶或分子筛等）来吸附水分而达到干燥的目的。此法的除水效果最好。例如，采用铝胶可将压缩空气干燥到含湿量为 $0.05\text{g}/\text{m}^3$ ，相当于把露点降低到 -64°C 。干燥吸附剂可根据表 3-1 选用。此外，也可用焦炭作吸附剂，效果虽然差些，但简便，成本低成本低，还能吸附油。

表 2-1 干燥吸附剂的性能

名称	分子式	干燥后含湿量 (g/m^3)	相应的露点 $^\circ\text{C}$
粒状氯化钙	CaCl_2	1.5	-14
棒状苛性钠	NaOH	0.8	-19
棒状苛性钾	KOH	0.014	-58
硅胶	$\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.03	-52
铝胶（活性氧化铝）	$\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.005	-64
分子筛		$0.011 \sim 0.003$	$-64 \sim -70$

吸附法是干燥处理方法中应用最普遍的一种方法。

当干燥器使用一段时间以后，吸附剂吸水达到饱和状态而失去吸附能力，因此需设法除去吸附剂中的水分，使其恢复干燥状态，以便继续使用，这就是吸附剂的再生。目前无热再生吸附式空气干燥器得到了广泛应用。

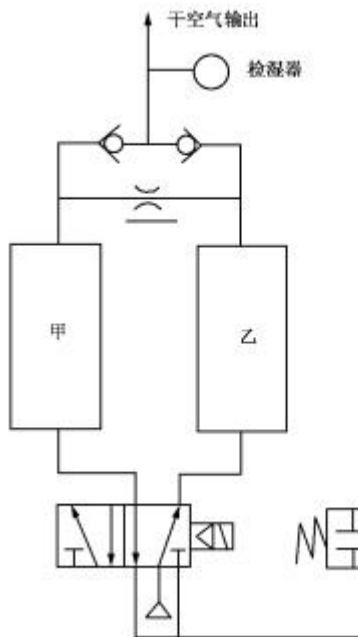


图 2-13 无热再生式干燥器

无热再生式干燥器利用了吸附剂的变压吸附原理，即吸附剂压力高时吸附水分多，压力低时吸附水分少。图 2-13 所示为无热再生吸附式空气干燥器工作原理图。它有两个填满吸附剂的相同容器甲和乙。湿空气经二位五通阀先从容器乙的底部流入，通过吸附剂层流到上部，空气中的水分被吸附剂吸收，干燥后的空气通过一单向阀输出，供气系统使用。与此同时，输出的干燥空气量的 10%~20%经节流阀流入再生筒甲，使吸附剂再生。由于再生筒的底部通过二位五通阀及二位二通阀与大气相通，使流入再生筒的干燥空气迅速减压流过筒中已达饱和状态的吸附层，吸附在吸附剂上的水分就会被脱附。脱附出来的水分随空气通过二位二通阀排向大气。由此实现了无需外加热而使吸附剂再生。

干燥器的甲、乙两筒轮流干燥和再生，交替工作。通常由一个定时器切换二位五通阀（工作周期为 5~10min），使吸附剂轮流吸附和再生，这样便可以得到连续输出的干燥压缩空气。二位二通阀的作用是使再生筒在转换吸附工作前预先充压，防止再生和干燥切换时输出流量的波动。干燥器输出的干燥压缩空气的性能，取决于吸附剂的种类（可查手册）和筒内吸附剂的装填量，以及空气的流速等。

应该注意的是，吸附剂对湿空气中的油分十分敏感，一旦油分附着于吸附剂表面，其吸湿能力就会明显下降，吸附剂也将迅速老化。因此，使用这种干燥器时，应在进气管道上装除油器。

气动系统使用的空气量应在干燥器的额定输出流量之内，否则会使空气露点温度达不到要求。干燥器使用到规定时限，应全部更换筒内的吸附剂。此外，吸附式空气干燥器在使用时，应在其输出端安装精密过滤器，以防止筒内的吸附剂在压缩空气不断冲击下产生的粉末混入压缩空气中。要减少进入干燥器的湿空气中的油分，以防油污粘附在吸附剂表面使吸附剂降低吸附能力，产生所谓，油中毒，现象。

2. 冷冻式干燥

此种干燥器采用冷冻的方法，就是利用制冷设备使空气冷却到一定的露点温度，析出空气中超过饱和水蒸气分压部分的多余水分，从而达到所需要的干燥程度。不同质量等级压缩空气的露点温度见表 2-2。单独使用此法，适于处理低压、大流量并对干燥程度要求不高的压缩空气。压缩空气的冷却，除用制冷设备外，也可采用制冷剂直接蒸发，或用冷冻液（如盐水）间接冷却的方法。

冷冻式干燥器的核心结构是制冷剂与压缩空气的热交换器。常用的有螺旋套管式热交换器（如图 2-14 所示），制冷剂从螺旋管内通过，压缩空气从螺旋管与套管之间通过。这种热交换器的热交换效率较高且压缩空气的压降较小，同时空气流还可消除聚积的污染物。还有铜焊板式热交换器（见图 2-15），压缩空气与制冷剂分隔层通过，达到热交换的目的。这种热交换器重量轻，结构紧凑，热交换效率较高，使用一段时间以后可以进行冲洗，清除积存的污染物。

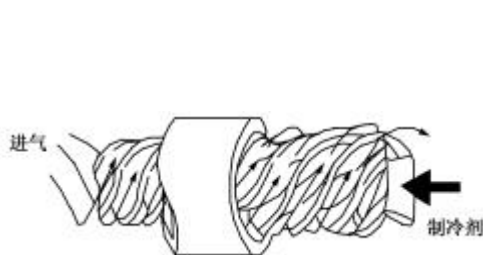
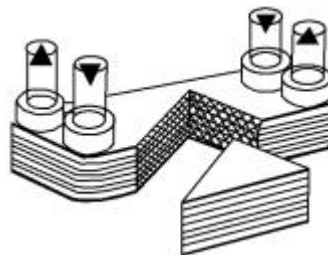


图 2-14 螺旋套管式热交换器图



2-15 铜焊板式热交换器

它的原理与空调机相似，包含了一个冷冻回路和两个热交换器。潮湿高温空气通过第一级热交换器将部分热量传递给冷却干燥后的输出空气，它就被预冷却。

热交换器中有一个制冷回路，在这个回路中蒸发氟里昂制冷剂需吸收热量，所以使空气进一步得到了冷却。此时水分的油雾凝结并自动排除。

如图 2-16 所示，进入干燥器的空气首先进入热交换器冷却，经初步冷却的空气中析出的水分和油分经分离器排出。然后，空气再进入制冷器，这使空气进一步冷却到 2~5℃，

使空气含有的气态水分、油分等由于温度的降低而大量进一步地析出，经分离器排出。冷却后的空气再进入热交换器加热输出。

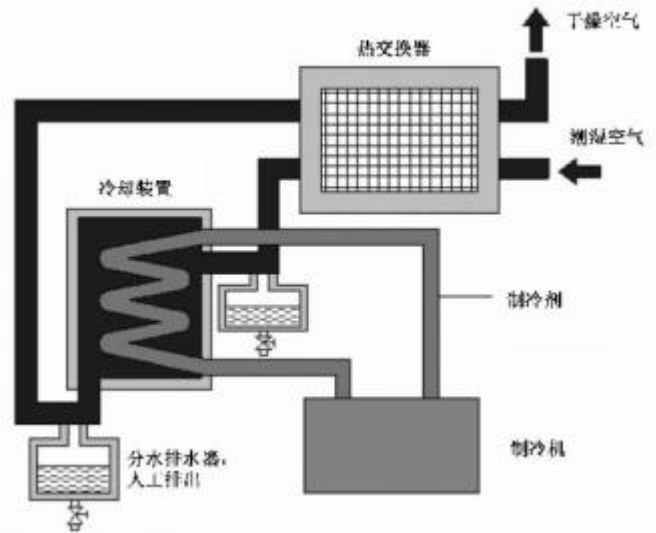


图 2-16 冷冻式干燥器工作原理示意图

在压缩空气冷却过程中，制冷机的作用是将输入的气态制冷剂压缩并冷却，使其变为液态，然后将制冷剂过滤、干燥后送入毛细管或自动膨胀阀中，使制冷剂变为低压、低温的液态输出到制冷器中。制冷剂进入制冷器冷却空气的同时，吸收了压缩机的热量后转变为气态，然后再进入制冷机，重复上面的热交换过程。

冷冻式干燥器具有结构紧凑，使用维护方便，维护费用较低等优点，适用于空气处理量较大，露点温度不是太低的场合。

冷冻式干燥器在使用时，应考虑进气温度、压力及环境温度和空气处理量。进气温度应控制在 40°C 以下，超出此温度时，可在干燥器前设置后冷却器。进入干燥器的压缩空气压力不应低于干燥器的额定工作压力。环境温度宜低于 35°C ，若环境温度过低，可加装暖气装置，防止冷凝水结冰。干燥器实际空气处理量，在考虑了进气压力、温度和环境温度等因素后，应不大于干燥器的额定空气处理量。

3. 膜式空气干燥器

湿空气从中空的分子膜纤维内部流过，空气中的水分透过分子膜向外壁析出，由此排除了水分的干燥空气得以输出。同时，部分干燥空气与透过分子膜外壁的水分一起排向大气，使分子膜能连续地排除湿空气中的水分。其工作原理见图 2-17。

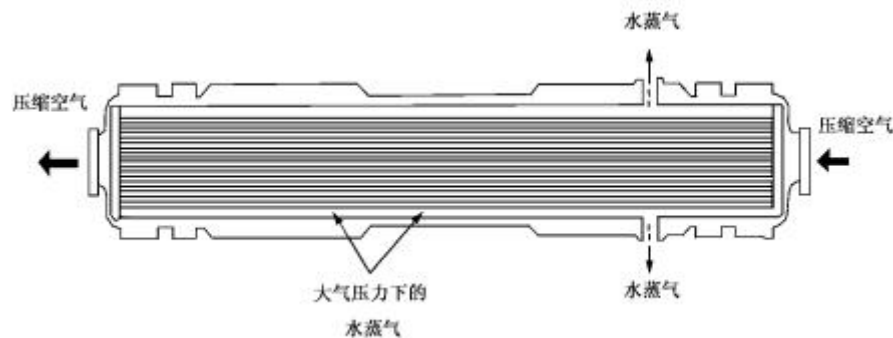


图 2-17 膜式空气干燥器工作原理

采用高分子膜作为分离空气中水分的膜式空气干燥器，其优点是：无机械可动件，不用电源，无需更换吸附物质，重量轻，使用简便，可在高温、低温、腐蚀性和易燃易爆等恶劣环境中使用，工作压力范围广 0.4~2.0MPa，大气露点温度可达 -70°C 。但膜式空气干燥器的耗气量较大，达 20%~40%。如某型号膜式空气干燥器性能指标如下：输入压力为 0.7MPa，输入空气温度为 -40°C ，输入流量为 $0.289\text{m}^3/\text{min}$ ，输出流量为 $0.191\text{m}^3/\text{min}$ ，大气露点温度为 -40°C ，重量为 5.7kg。

目前，膜式空气干燥器输出流量较小。当需要大流量输出时，可将若干个干燥器并联使用。

（五）过滤器

压缩机吸入口的空气过滤器对于压缩机工作可靠性是十分重要的，必须提供合适有效的过滤器，以免气缸和活塞环过量损耗，这种损耗主要是由于空气中微粒的摩擦而引起的。过滤器不需太细密，因为压缩机的效率随空气阻力的增加而减少。因此，细小的颗粒（ $2\sim 5\mu\text{m}$ ）不能滤掉。吸气口应设置得尽可能远，干净的干燥空气向上流动，进气管的直径应足够大以避免过大的压力降。当应用消声器时，过滤器应放在它的上端以尽可能减少空气流的脉动。

1. 主管道过滤器

在储气罐后应装一个大容量的主管道过滤器，除去从压缩机中带来的油雾和空气中的水分等杂质。过滤器必须保证最小的压降，并能除去压缩机中带来的油雾，以避免冷凝物在管道中的乳化作用，它有，标准过滤器，中的导流板。而装在外部的自动排水器能确保排出聚积的水。这种过滤器的滤芯一般是筒型快速更换滤芯。如果必要，可设初过滤和精过滤。

空气的过滤是气动系统中的重要环节。不同的场合，对压缩空气的过滤要求也不同。

过滤器的作用是进一步滤除压缩空气中的杂质。有些过滤器常与干燥器、油水分离器等做成一体。因此，过滤器的形式很多，常用的过滤器有一次过滤器和二次过滤器。在要求高的特殊场合，可以使用高效过滤器，其滤灰效率大于 99%。

(1) 一次过滤器一次过滤器的滤灰效率为 50%~70%。

(2) 二次过滤器二次过滤器的滤灰效率为 50%~70%。分水滤气器即属于二次过滤器。它和减压阀、油雾器称为气动三联件，是气动设备之前必不可少的辅助装置。

普通分水过滤器的结构如图 2-18 所示。其工作原理如下：压缩空气从输入口进入后，被引入旋风叶子 1，旋风叶子上有很多成一定角度的缺口，迫使空气沿切线方向运动而产生强烈的旋转。夹杂在气体中较大的水滴、油滴等，在惯性作用下与存水杯 3 内壁碰撞，并分离出来沉到杯底；而微粒灰尘和雾状水气则在气体通过滤芯 2 时被拦截而滤去，洁净的空气便从输出口输出。

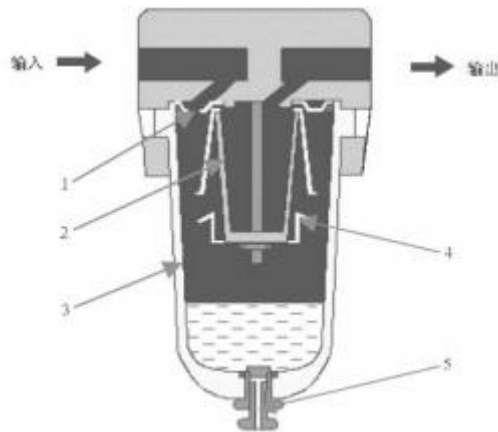


图 2-18 过滤器

1—旋风叶子 2—滤芯 3—存水杯 4—挡水板 5—手动排水阀

为防止气体旋涡将杯中积存的污水卷起而破坏过滤作用，在滤芯下部设有挡水板 4。此外，为保证分水滤气器正常工作，必须将污水通过手动排水阀 5 及时放掉。某些人工排水不便的场合，可采用自动排水式分水滤气器。

存水杯由透明材料制成，便于观察内部情况。滤芯多为铜颗粒烧结成型，耐高温耐冲洗且过滤性能稳定，当污泥过多时，可拆下用酒精清洗。此种过滤器应尽可能安装在能使空气中的水分变成液态或能防止液体进入的部位。它除可安装在气源系统中，亦可安装在气动设备的压缩空气入口处。



第四节 传输压缩空气的管道系统

空气主管道是一个固定安装的用于把压缩空气输送到各处的耗气系统。必须安装断路阀，它能在维修和保养期间把空气主管道分离成几部分。一般有两种主要的配置。

如图 2-19，(a) 为终端管道，(b) 为环状管道

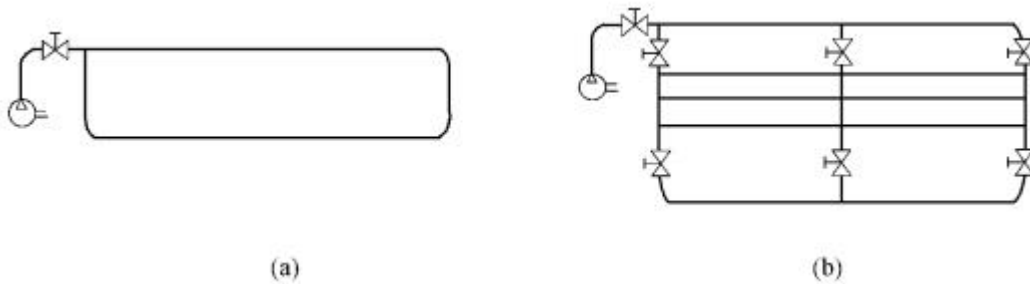


图 2-19 空气输送管道示意图

一、终端管道

为了有助于排水，管道应在流动方向上有 1:100 的斜度，这样就可适当排水。在适当距离用两个直角弯头和一个装在低处的腿状排水管道，主管道就可能达到排水目的。如图 3-20。

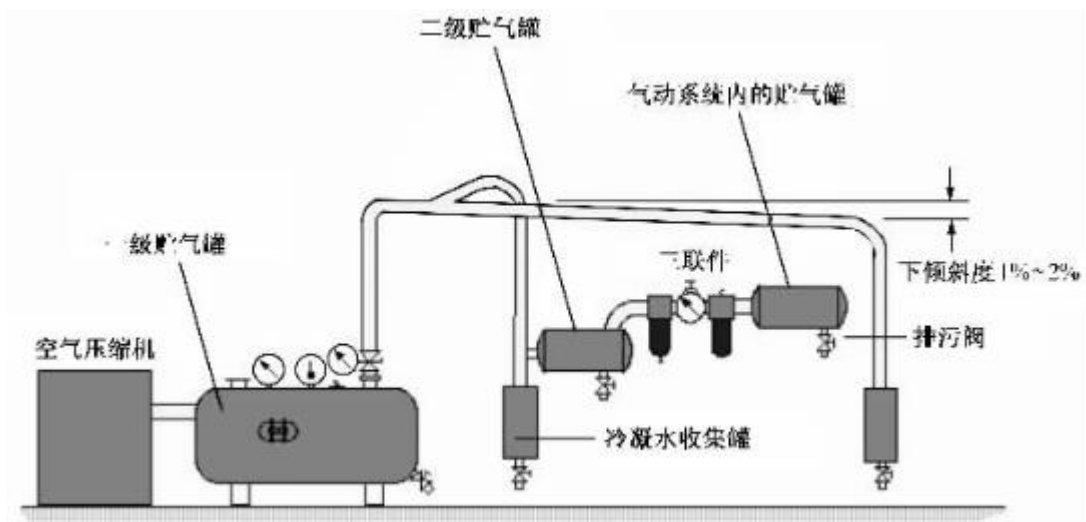


图 2-20 终端管道的空气系统

二、第二级管道

除非安装了有效的后冷却器和空气干燥器，否则空气配气系统工作管道会被作为冷却表面，因此，水和油会在整个管道长度上积聚。

分支管道从主管道的顶部引出，是为了防止主管道里的水流入分支管道内，而在管道底部积存的水必须排走。

排水点是在气管的低处，安装相同的三通接头引出，排水可定期由人工完成或安装自动排水器。

三、环状管道

环状管道一般有以下三种情况：

1. 单树枝状管网供气系统

如图 2-21 (a) 所示，该供气系统简单，经济性好，适合于间断供气的工厂或车间采用。但该系统中的阀门等附件容易损坏，尤其是开关频繁的阀门更易损坏。解决的方法是开关频繁的阀门，用两个串联起来，其中一个用于经常动作，另一个一般情况下总开启，当经常动作的阀门需要更换检修时，这一阀门才关闭，使之与系统断开，不致影响整个系统的工作。

2. 环状管网供气系统

如图 2-21 (b) 所示，该系统供气可靠性比单树枝状管网高，而且压力较稳定，末端压力损失较小，当支管上有一个阀门损坏需要检修时，可将环形管道上两侧的阀门关闭，以保证更换、维修支管上的阀门，而整个系统能正常工作。但此系统成本较高。

3. 双树枝状管网供气系统

如图 2-21 (c) 所示，该系统能保证对所有用户不间断供气，正常状态两套管网同时工作。当其中任何一个管道附件损坏时，可关闭其所在的系统进行检修，而另一套系统照常工作。适用于不允许停止供气等特殊要求的用户。

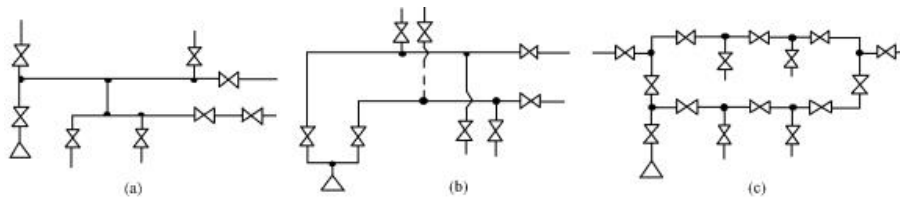


图 2-21 环状管道

(a) 单树枝状管网供气系统

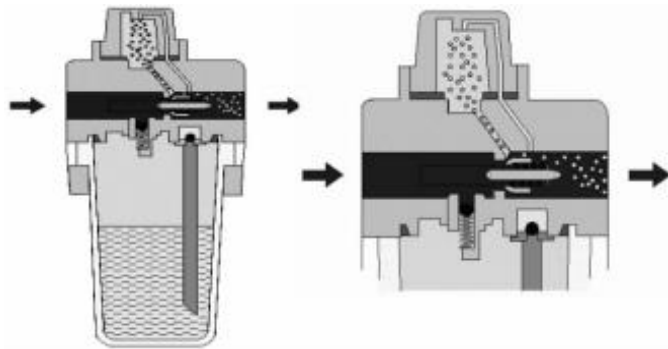
(b) 环状管网供气系统

(c) 双树枝状管网供气系统

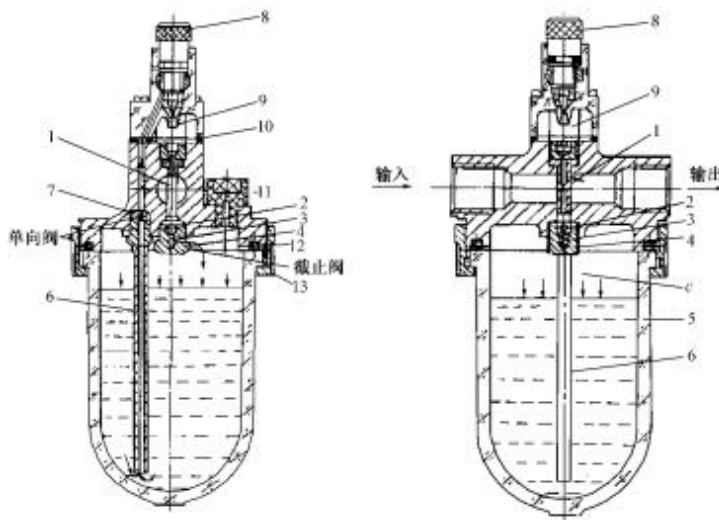
第五节 辅助元件

根据气动设备的具体情况，有时还需要安装一些专用元件，以解决润滑、噪声等问题。同时组成系统也需要管道及各种管接头来连接。本节主要介绍油雾器和消声器两种辅助元件。

一、油雾器



(a)



(b)

图 2-22 油雾器

(a) 油雾器 (b) 一次性油雾器

1—喷嘴 2、7—钢球 3—弹簧 4—阀座 5—储油杯 6—吸油管 8—节流阀
9—视油器 10—密封垫 11—油塞 12—密封圈 13—螺母

向压缩空气中加润滑油是通过油雾器（图 2-22）来进行的。它可以减缓气动元件的磨损，改善运动性能。

油雾器是一种特殊的注油装置，其作用是以压缩空气为动力把润滑油雾化以后注入气流中，并随气流进入需要润滑的部件，达到润滑的目的。图 2-22（b）是普通油雾器的结构图。压缩空气从输入口进入后，一部分气体从小孔经特殊单向阀进入储油杯 5 的上腔 c 中，使油面受压，油经吸油管 6 将单向阀的钢球 7 顶起。钢球上部管口是一个小方形孔，不能被钢球完全封死，油能不断地经节流阀 8 流入视油器 9，滴入喷嘴 1 中，再被主管道的气流从小孔中引射出来并雾化后从输出口输出。通过视油器 + 可以观察滴油量，滴油量可用节流阀 8 调节，调节范围为 0~220 滴 /min。

油雾器的供油量应根据气动设备的情况确定。一般以 10m^3 自由空气供给 1cm^3 润滑油为宜。

油雾器的安装位置应尽量靠近换向阀，与阀的距离一般不应超过 5m，必须注意管径的大小和管道的弯曲程度。应尽量避免将油雾器安装在换向阀与气缸之间，以免浪费润滑油。

二、消声器

气压传动系统一般不设排气管道，用后的压缩空气直接排入大气。这样因气体的急速膨胀及形成涡流等现象，将产生强烈的噪声。排气速度和排气功率越大，噪声也越高，一般可达 100~120.B。噪声使环境恶化，危害人身心健康。因此，必须设法消除或减弱噪声。为此，可在气动系统的排气口，尤其是在换向阀的排气口，装设消声器来降低排气噪声。消声器就是通过对气流的阻尼或增加排气面积等方法，来降低排气速度和排气功率，从而达到降低噪声的目的。常用的消声器有以下几种：

（一）吸收型消声器

吸收型消声器主要依靠吸声材料消声，其结构见图 2-23。消声罩 2 为多孔的吸声材料，一般用直径 0.2~0.3mm 的聚苯乙烯颗粒烧结而成。当消声器的直径大于 20mm 时，多采用铜珠烧结以增加强度。其消声原理是：当有压气体通过消声罩时，气流受阻，声能量被部分吸收转化为热能，从而降低了噪声强度。吸收型消声器结构简单，有良好的消除中、高频噪声的性能，消声效果大于 20.B。气动系统的排气噪声主要是中、高频噪声，尤其是高频噪声较多。因此，采用这种消声器是合适的。

（二）膨胀干涉型消声器

它的原理是使气体膨胀互相干涉而消声。这种消声器呈管状，其直径比排气孔大得多，气流在里面膨胀、扩散、反射和互相干涉，从而减弱了噪声强度。这种消声器结构简单，排气阻力小，主要用于消除中、低频，尤其是低频噪声。它的缺点是结构较大，不够紧凑。

（三）膨胀干涉吸收型消声器

它是前两种消声器的组合应用，其结构如图 2-24 所示。在消声套内壁敷设吸声材料，气流从斜孔引入，在 A 室扩散、减速并被器壁反射到 B 室，气流束相互撞击、干涉，进一步减速而使噪声减弱；然后气流在经消声材料及消声套上的孔排入大气时，噪声再一次被削弱。这种消声器的效果较前两种好，低频可消声 20DB，高频可消声 45DB。

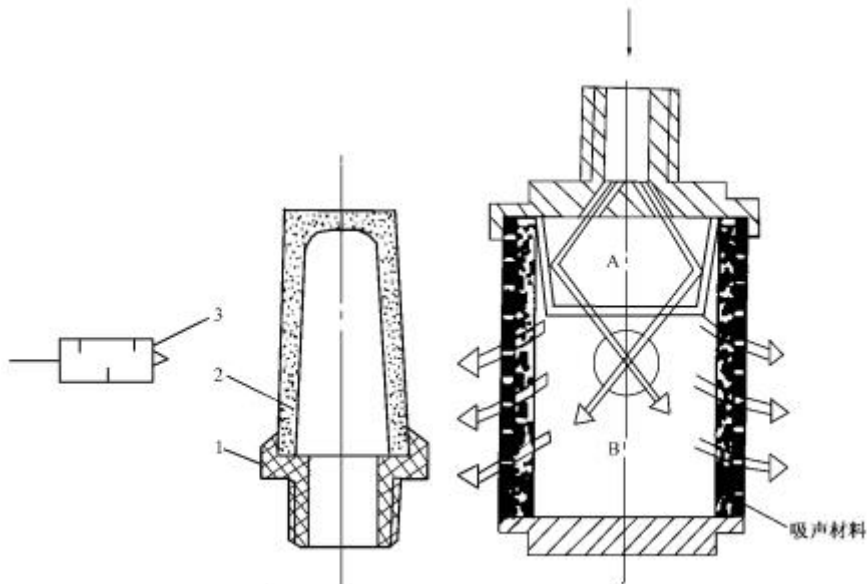


图2-23吸收消声器1—连接螺钉 2—消声罩 3—图形符号

2-24 膨胀干涉吸收型消声器

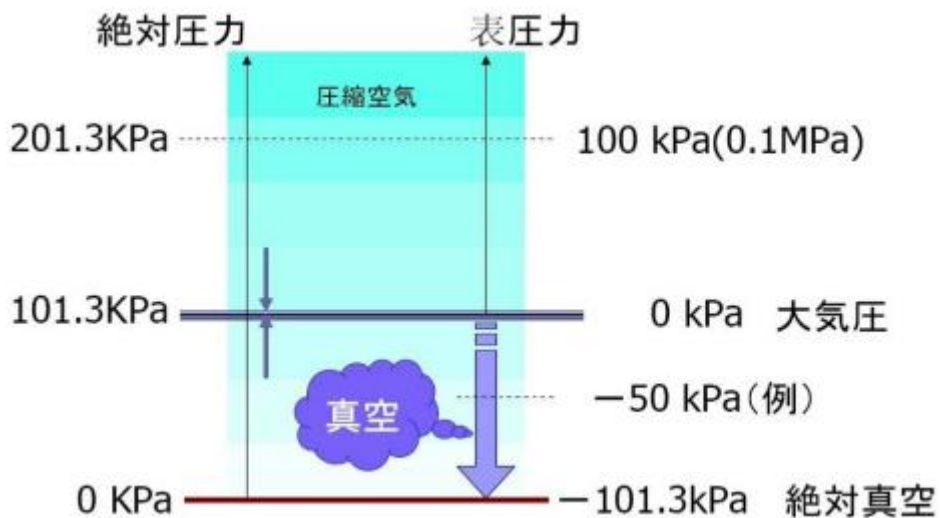
第六节 气动真空系统基础

一、真空系统介绍

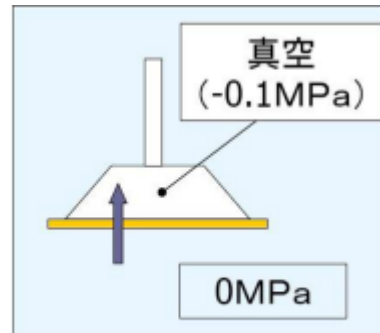
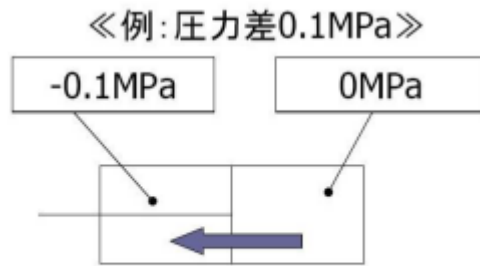
真空吸附是利用真空泵或真空发生器产生真空，由真空吸盘吸附物体，从而达到吊运物体，移动物体，组装产品的目的。



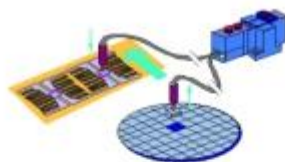
(一) 什么是真空



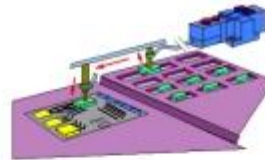
真空吸附和气缸的动作原理基本上是一样的，即为利用压力差来实现动作。



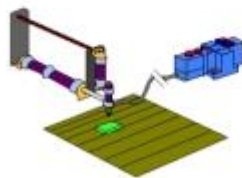
（二） 真空的应用场合



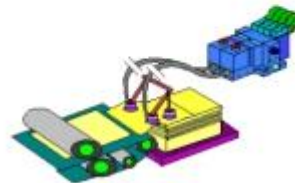
集成电路的接合



电路元件安装



拾取及传送



传送印刷纸张

（三） 产生真空的设备

真空泵：吸入口形成负压，排气口直接通大气，两端压力比很大的抽除气体的机械；最大真空可达-101.33kpa.



活塞式



螺杆式



离心式

真空发生器：利用压缩空气的流动而形成一定真空度的气动元件。最大真空可达-88kpa。

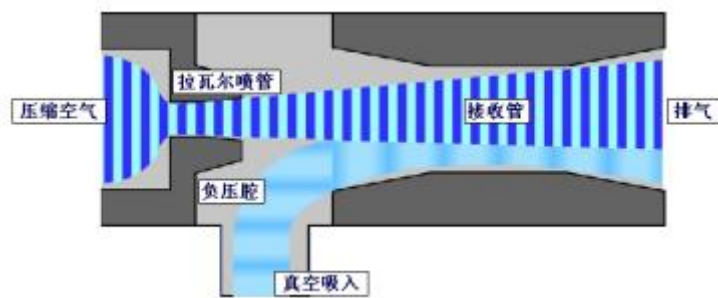


盒式真空发生器ZH系列

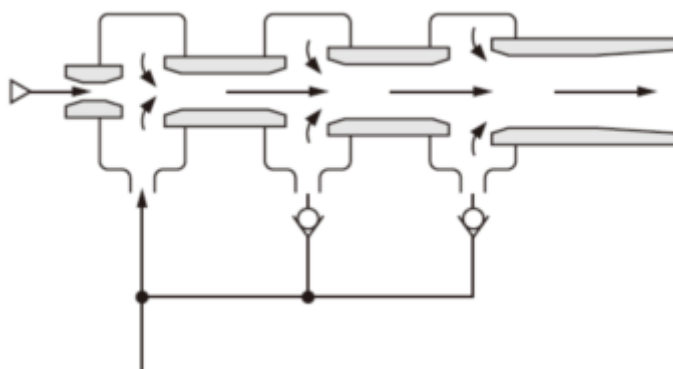


管式真空发生器ZU系列

真空发生器工作原理



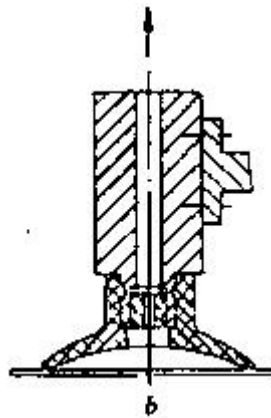
不仅有单段式真空发生器，还有由多个真空发生器组成的多段式真空发生器。多段式真空发生器，可以增加吸入流量，比单段式真空发生器的吸入流量大。



两种真空发生装置特点

项目	真空泵	真空发生器
最大真空度	可达101.3kPa 能同时获得大值	可达88kPa 不能同时获得大值
吸入流量	可很大	不大
结构	复杂	简单
体积	大	很小
重量	重	很轻
寿命	有可动件, 寿命较长	无可动件, 寿命长
消耗功率	较大	较大
价格	高	低
安装	不便	方便
维护	需要	不需要
与配套件复合化	困难	容易
真空的产生及解除	慢	快
真空压力脉冲	有脉动, 需设真空罐	无脉冲, 不需真空罐
应用场合	适合连续、大流量工作, 不宜频繁启停, 适合集中使用	需供应压缩空气, 宜从事流量不大的间歇工作, 适合分散使用, 改变材质, 可实现耐热、耐腐蚀。

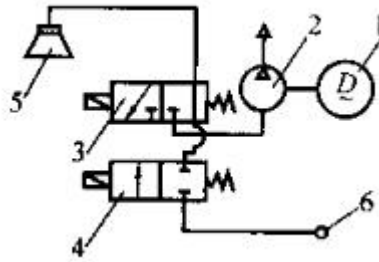
(四) 回路图



真空式

真空式吸盘利用真空泵抽取橡胶吸盘中的空气，形成内腔真空，实现吸附被取物。放料时，管路通大气，失去真空，放下物体。

该方式真空度大，吸附可靠，但需配真空泵系统成本较高。



真空式吸盘管路图

1-电机 2-真空泵 3-电磁阀

4-电磁阀 5-吸盘 6-通大气

工作原理：取物件时，吸盘 5 与物件表面接触，单头电磁阀 3 得电，切换到左位，单头电磁阀 4 失电，保持图示右位，电机 1 工作，带动真空泵 2 工作，抽出吸盘内腔及其管路空气，形成真空，将物件吸附住。释放物件时，单头阀 3 失电，切换到图示右位，真空管路与吸盘断开，单头阀 4 得电，切换到左位，真空吸盘 5 的内腔与大气相通，内腔真空迅速破坏。

各元件的作用：

电机：系统动力源，驱动真空泵

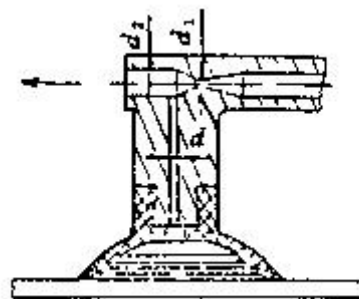
真空泵：抽取管路空气，形成真空。

电磁阀：切换真空源与吸盘腔的管路连通状态

电磁阀 大气与吸盘腔的管路连通状态

吸盘 吸附物件的作业件，形成真空腔

通大气 与大气的接口

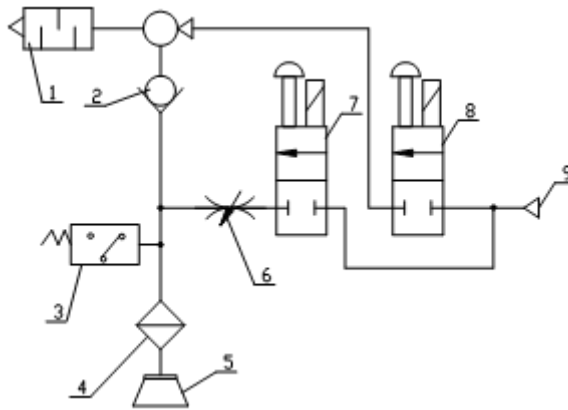


喷气式

喷气式吸盘利用流体力学原理，压缩空气高速流经喷嘴时，其出口处气压低于吸盘腔内气压，于是吸盘腔内气体被高速气流带走而形成负压。

该方式产生真空的压缩空气工厂内易获得，成本较低，市场上有各种规格的商品化的

真空发生器出售。

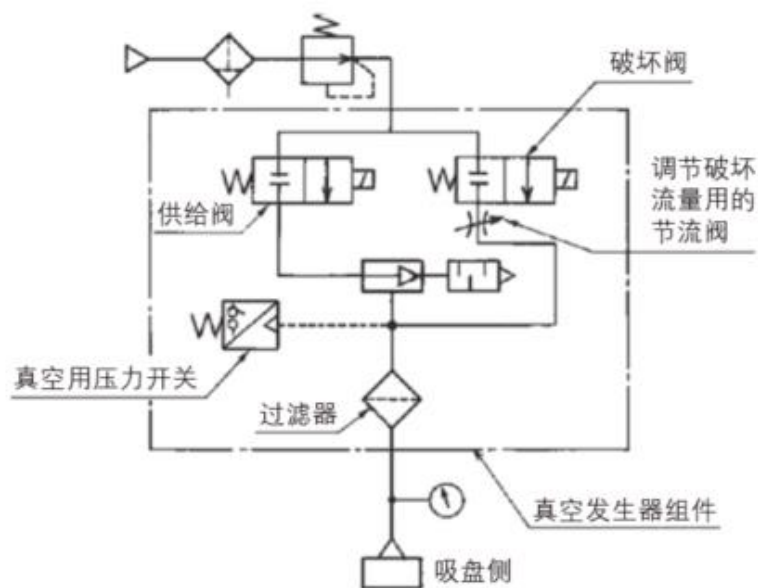


喷气式吸盘的管路图

压缩空气由进口 9 进入，吸取物件时电磁阀 8 动作切换至上位，高速压缩空气通过消音器 1 排出至大气，管路中配置有单向阀 2，保证压缩空气不会进入吸盘，而吸盘中的空气可以进入主通道，压力开关 3 用于检测真空管路真空度的大小，根据设定的上下限发出相应的电气信号，滤网 4 保证工件表面的异物不会进入真空管路，压缩空气流经管路喷嘴时，将吸盘及管路中的空气带出，形成负压将物件吸附。释放物件时，电磁阀 8 复位至下位，电磁阀 7 动作至上位压缩空气通过调试阀 6 进入真空吸盘内腔，破坏吸盘真空，调试阀 6 调节进入吸盘腔压缩空气的速率，控制真空破坏的速率。

(五) 真空系统元件

真空发生器组件/回路图



供给阀：供给真空发生器压缩空气的阀。

破坏阀：破坏吸盘内的真空状态，使工件脱离吸盘。

一般使用二位二通阀。



1、真空调压阀

调节真空系统压力并保持其稳定，通用于真空泵系统中。

真空调压阀



系列	接管口径	设定压力 (kPa)
IRV1000	1/8	-100 ~ -1.3
IRV2000	1/4	
IRV3000	1/4, 3/8, 1/2	
特点	真空管路压力控制	

IRV

真空用电-气比例阀



系列	接管口径	设定压力 (MPa)
ITV209□	1/4	-1.3 ~ -60
特点	用电气信号对真空压力进行无级控制	

ITV

2、真空压力开关

确保安全吸住工件的真空压力，输出电信号给真空控制系统。

2色显示式高精度数字式压力开关

ZSE30



系列	设定压力范围
ZSE30	-101.0~101.0 kPa
特点	高精度·高分辨率

高精度数字式压力开关

ZSE40



系列	设定压力范围
ZSE40	-101.3~10.0 kPa
特点	高精度·高分辨率

通用流体用高精度数字式压力开关

ZSE50F



系列	设定压力
ZSE50F	-100.0~100 kPa
特点	可检出多种流体的压力。

3、真空过滤器

将由真空吸盘从大气中吸的的污染物（主要为尘埃）进行隔离排除，确保真空发生器不会堵塞，正常工作。

不能用 AF 系列过滤器取代 ZF 系列过滤器（负压段）。当过滤器两端压降大于 0.02Mpa 时，滤芯应卸下清洗或更换。

系列		ZFA	ZFB	ZFC	AMJ
特点		扁平状滤芯,过滤面积大。 可集装。	配管管子的安装方向可360°自由选定。 带快换接头。	IN, OUT是直通配管。 带快换接头。	除去真空管路中的水滴。
连接口径	螺纹拧入	1/8	1/4	—	—
连接口径	快换接头外径	—	—	4	6
流量 [l/min(ANR)]		50	200	10	30
过滤精度 (μm)		30	30	10	10
					水滴除去率90%

4、单向阀

当供给阀停止供气时，保持吸盘内的真空压力。

安全考虑，可延缓被吸吊工件脱落的时间。应选用流通能力大、开启压力低（0.01Mpa）

的单向阀，SMC 公司有 AK 系列的单向阀可选用

5、节流阀

用于控制真空破坏的快慢，节流阀出口压力不得高于 0.5Mpa，可使用 AS 系列弯头型带快换接头的速度控制阀。

二、吸盘选型

(一) 材料

材 质	用 途
NBR(黑色)	纸壳、铁板、胶合板、其他一般工件
硅橡胶(白色)	半导体、模具成型品取出、薄工件、食品关联
聚氨酯橡胶(茶色)	纸壳、铁板、胶合板
氟橡胶 (带绿色标记的黑色)	药品性的工件
导电性NBR (带白色一点标记的黑色)	半导体的一般工件（防止静电）
导电性硅橡胶 (带白色两点标记的黑色)	半导体（防止静电）

◎：基本不受影响 ○：在一定条件下可以使用 ×：不适用

项目	硬度 HS(±5°)	使用温度 范围℃	耐油性 汽油	耐油性 苯	耐碱性	耐酸性
材质 NBR	A50/S	0~120	◎	×	○	○
硅橡胶	A40/S	-30~200	×	×	○	×
聚氨酯橡胶	A60/S	0~60	◎	×	×	×
氟橡胶	A60/S	0~250	◎	◎	×	◎
导电性NBR	A50/S	0~100	○	×	○	×
导电性硅橡胶	A50/S	-10~200	×	×	○	×

项目	耐候性	耐臭氧性	耐摩擦性	耐水性	耐溶剂性 苯·甲苯
材质 NBR	×	×	◎	○	×
硅橡胶	◎	◎	×	○	×
聚氨酯橡胶	○	◎	◎	×	×
氟橡胶	◎	◎	○	◎	◎
导电性NBR	○	×	○	○	×
导电性硅橡胶	◎	◎	×	○	×

(二) 形状

长型		吸着面少的工件和工件长也想可靠进行定位的场合。
头可摆动型		没有水平吸着面的工件。
长行程型		工件高度不均一的场合和对工件需缓冲的场合。
大型		重工件。
导电性型		作为静电对策的一种。使用阻抗率低的橡胶。防止静电用。

不同形状

吸盘形状	用途
平形	工件表面是平面且不变形的场合。
平形带肋	工件易变形的场合且工件想可靠脱离的场合。
深形	工件形状是曲面的场合。
风琴形	没有安装缓冲的空间的场合或工件吸着面是斜的场合。

常用形状

根据工件选择吸盘形状

平形 (工件表面平整无变形的场合)	
平形带肋 (工件易于变形的场合)	
深形 (工件表面为曲面的场合)	
风琴形 (没有安装缓冲空间的场合。工件的吸附面倾斜的场合)	

(三) 直径大小

根据算出的吸盘的吸吊力求吸盘的直径。有时，计算值作为参考值，还要进行必要的吸着试验来确认。吸吊力的计算要根据工件的重量及移动时(上升、停止、回转等)的加速度产生的惯性力，给予充分的裕量。还要考虑到吸盘的个数及配置情况给予裕量。求理论吸吊力的方法：吸盘的吸吊，可由计算式或表①理论吸吊力求得

$$W = P \times S \times 0.1 \times \frac{1}{t}$$

W : 吸吊力(N)
 P : 真空度(kPa)
 S : 吸盘的面积(cm²)
 t : 安全率 水平吊上: 4以上
 垂直吊上: 8以上

吸盘

水平吊上

垂直吊上

(基本上应尽量
避免使用)

从吸盘直径、真空度求不含安全率的理论吸吊力。

然后，理论吸吊力除以安全率，求吸吊力。

吸吊力=理论吸吊力×1/t

①理论吸吊力表(P × S × 0.1)

吸盘尺寸(mm)		20 × 4	35 × 7	40 × 10	φ2	φ4	φ6	φ8	φ10	φ13	φ16	φ20	φ25	φ32	φ40	φ50
S(吸盘尺寸的面积(cm ²))		0.07	0.21	0.36	0.031	0.126	0.283	0.503	0.785	1.33	2.01	3.14	4.91	8.04	12.6	19.6
真空度 kPa	-85	0.60	1.78	3.05	0.264	1.07	2.41	4.28	6.67	11.3	17.1	26.7	41.7	68.3	107	167
	-80	0.56	1.68	2.88	0.248	1.01	2.26	4.02	6.28	10.6	16.1	25.1	39.3	64.3	101	157
	-75	0.53	1.57	2.70	0.233	0.945	2.12	3.77	5.89	9.98	15.1	23.6	36.8	60.3	94.5	147
	-70	0.49	1.47	2.52	0.217	0.882	1.98	3.52	5.50	9.31	14.1	22.0	34.4	56.3	88.2	137
	-65	0.46	1.36	2.34	0.202	0.819	1.84	3.27	5.10	8.65	13.1	20.4	31.9	52.3	81.9	127
	-60	0.42	1.26	2.16	0.186	0.756	1.70	3.02	4.71	7.98	12.1	18.8	29.5	48.2	75.6	118
	-55	0.39	1.15	1.98	0.171	0.693	1.56	2.77	4.32	7.32	11.1	17.3	27.0	44.2	69.3	108
	-50	0.35	1.05	1.80	0.155	0.630	1.42	2.52	3.93	6.65	10.1	15.7	24.6	40.2	63.0	96.0
	-45	0.32	0.94	1.62	0.140	0.567	1.27	2.26	3.53	5.99	9.05	14.1	22.1	36.2	56.7	88.2
	-40	0.28	0.84	1.44	0.124	0.504	1.13	2.01	3.14	5.32	8.04	12.6	19.6	32.2	50.4	78.4

计算吸盘的吸力：吸力=S * P / μ

其中：S--吸盘面积 (cm²)，P 为气压 (kg/cm²)，μ 为安全系数>=2.5

例：真空度-750mbar，吸盘直径 φ 80mm 时，单个吸盘的吸力为 12.56KG。该计算条件为：真空度为-750mbar，等于 0.75kg/cm²，μ 安全系数=3，吸盘水平吸持物体，物体表面平整

单位换算：1MPa=10bar=10 kg/cm²，(1 bar=0.1MPa= 1 kg/cm²)



1Kpa=10 mbar=0.01 kg/cm²= 10g/cm²,

1 mbar =0.1Kpa=0.001 kg/cm²= 1 g/cm²,

理论起吊力（吸附力）

1)水平起吊时，根据真空压力计算起吊力：

$$F=0.1 \times A \times P$$

F：理论起吊力（N） A：吸盘的吸附面积（cm²） P：真空压力（-kPa）

2)垂直起吊时

真空压力的吸附力与吸附物和吸盘的吸附面的摩擦力即为维持物体的力（吸附力）

$$F= \mu \times 0.1 \times A \times P$$

F：理论起吊力（N） μ ：摩擦系数

A：吸盘的吸附面积（cm²） P：真空压力（-kPa）

摩擦力根据吸附物，吸盘的材质，吸附物的表面的粗糙程度等会有很大变化。实际使用时建议通过实验测试。

静摩擦 $f=F$ 作用力与反作用力

动摩擦 $f= \mu F_n$ μ 动摩擦因素由两个物体本身属性决定

F_n 正压力 就是垂直与 f 的力

$F=$ 摩擦系数 \times 垂直于接触面的压力

$$\text{滑动摩擦力公式 } f= \mu N$$

其中 N 是压力，在水平地面的时候 $N=mg$

μ 是滑动摩擦因数，与材料有关。

可以使用表格方程式快速计算所需元件尺寸



真空用元件的选定

1、吸盘的选定

吸盘的理论吸力是吸盘内的真空度 p 与吸盘的有效吸着面积 A 的乘积。

使用 n 个同一直径的吸盘吸吊物体，其吸盘直径 D 可按下式选定。

$$D \geq \sqrt{\frac{4Wt}{\pi np}}$$

式中：

D —吸盘直径，mm

W —吸吊物重力，N

t —安全系数，水平吊， $t \geq 4$ ；垂直吊， $t \geq 8$ 。

p —吸盘内的真空度，MPa。

STEP-1 确认使用条件

①	物体质量 M	20	kg	=	98	N
②	安全系统 t	4				
③	吸盘个数 n	4				
④	真空度 p	0.06	Mpa			(预设)

STEP-2 选择大致的吸盘尺寸

①	请求出吸盘直径 D	64	mm
②	根据样本选择吸盘直径 D	63	mm

STEP-3 吸吊时所需真空度

p	0.06	Mpa
-----	------	-----

$$p = \frac{4Wt}{\pi D^2 n}$$

标准吸盘直径mm
2
4
6
8
10
13
16
20
25
32
40
50
63
80
100
125

[思考与练习题]

1. 简述空压站的压缩空气净化流程。
2. 一级活塞式压缩机的工作循环可分为哪几个工作过程？它们各完成什么工作？
3. 简述二级活塞式压缩机的工作原理。
4. 简述普通空气过滤器的工作原理。
5. 为何要使用空气干燥器？冷冻式干燥器和吸附式干燥器的工作原理是什么？
6. 贮气罐的作用是什么？每个贮气罐应有哪些附件？
7. 压缩空气中的污染物将对气动系统造成哪些不利影响？
8. 为何要使用消声器？如何选择？
9. 在执行机构（如气缸）之前为什么需要过滤器和油雾器？
10. 举例说明一个空压系统的各个组成部分及其作用。
11. 真空系统有哪几部分组成

[本章小结]

1. 工厂气动系统的主体是气源装置，此外还有对压缩空气进行各种处理的辅助元件。因为压缩空气虽然在压力、流量方面满足了气压传动的要求，但其中的水分、杂质、油气等污染物将对气动系统造成不利影响，所以气压传动系统所使用的压缩空气必须经过干燥和净化处理后才能使用。

2. 压缩空气站（简称空压站）是气压系统的动力源装置，一般规定：排气量大于或



等于 $6\sim 12\text{m}^3/\text{min}$ 时，就应独立设置压缩空气站；若排气量低于 $6\text{m}^3/\text{min}$ 时，可将压缩机或气泵直接安装在主机旁。

(1) 一般的压缩空气站除空气压缩机外，还必须设置过滤器、后冷却器、油水分离器和贮气罐等净化装置。

(2) 容积型压缩机的工作原理：气体压力的提高是由于压缩机内部的工作容积被缩小，使单位体积内的分子密度增加而形成。

(3) 速度型压缩机的工作原理：气体压力的提高是由于气体分子在高速流动时突然受阻而停滞下来，使动能转化为压力能而达到。

(4) 活塞式压缩机的工作原理：通过曲柄连杆机构使活塞作往复运动而实现吸、压气，并达到提高气体压力的目的。

(5) 压缩机的实际工作循环可分为吸气、压缩、排气、膨胀四个过程。

3. 空气在进入压缩机之前，必须经过空气过滤器，以滤去其中所含的灰尘和杂质，以免因磨损而使汽缸和活塞环过量损耗。

(1) 过滤的原理：根据固体物质分子的大小和质量不同，利用惯性阻隔和吸附的方法，将灰尘和杂质与空气分离。油水分离器用于分离压缩空气中所含的油分和水分。

(2) 油水分离器的工作原理：当压缩空气进入油水分离器后，产生流向和流速的急剧变化，再依靠惯性作用，将密度比压缩空气大的油滴和水滴分离出来。

4. 空气干燥器是吸收和排除压缩空气中的水分和部分油分与杂质，使湿空气变成干空气的装置。

压缩空气的干燥方法主要有机械法、离心法、冷冻法和吸附法等。机械和离心法的原理基本上与油水分离器的工作原理相同。目前工业上常用的是冷冻法和吸附法。

5. 油雾器是以压缩空气为动力，将润滑油喷射成雾状并混合在压缩空气中，使该压缩空气具有润滑气动元件的作用。目前，气动控制阀、气缸和气马达主要是靠这种带有油雾的压缩空气来实现润滑的，其优点是方便、干净、润滑质量高。

油雾器的选用：油雾器主要根据通气流量及油雾粒径大小来选择，一般场合选用一次油雾器，特殊要求的场合可选用二次油雾器。油雾器一般安装在减压阀之后，尽量靠近换向阀；油雾器进出口不能接反，贮油杯不可倒置。油雾器的给油量应根据需要调节，一般 10m^3 的自由空气供给 1mL (cm^3) 的油量。

6. 当压缩空气直接从气缸或阀中排向大气时，较高的压差使气体体积急剧膨胀，产生涡流，引起气体的振动，发出强烈的噪声，因此需安装消声器。



7. 压缩空气的传送系统一般有以下几种形式:

(1) 单树枝状管网供气系统: 该供气系统简单, 经济性好, 适合于间断供气的工厂或车间采用。但该系统中的阀门等附件容易损坏, 尤其是开关频繁的阀门更易损坏。解决的方法是开关频繁的阀门, 用两个串联起来, 其中一个用于经常动作, 另一个一般情况下总开启, 当经常动作的阀门需要更换检修时, 这一阀门才关闭, 使之与系统断开, 不致影响整个系统的工作。

(2) 环状管网供气系统: 该系统供气可靠性比单树枝状管网高, 而且压力较稳定, 末端压力损失较小, 当支管上有一个阀门损坏需要检修时, 可将环形管道上两侧的阀门关闭, 以保证更换、维修支管上的阀门, 而整个系统能正常工作。但此系统成本较高。

(3) 双树枝状管网供气系统: 该系统能保证对所有用户不间断供气, 正常状态两套管网同时工作。当其中任何一个管道附件损坏时, 可关闭其所在的系统进行检修, 而另一套系统照常工作。适用于不允许停止供气等特殊要求的用户。



第三章 气压传动执行元件

[教学目标]

- (1) 了解气动系统的主要执行元件及其种类、特点
- (2) 了解气动执行元件的选择及其安装
- (3) 了解一些基本的气缸及力的计算

[教学大纲]

本章主要介绍了气压传动系统中的执行机构：气缸。重点是要学员了解气动执行机构的工作方式、特点及其应用场合。通过现场实物展示，让学员开始认识气缸的种类。同时，本章也给出了气动执行元件——气缸的力、缸径和耗气量的初步计算。

第一节 气缸

气动元件包括执行元件和控制元件。气动执行元件是以压缩空气为动力源，将气体的压力能再转换为机械能的装置，用来实现既定的动作。它主要有气缸和气马达。前者作直线运动，后者作旋转运动。

一、气缸的种类

（一）直线运动气缸

1. 单作用气缸

在压缩空气作用下，单作用气缸活塞杆伸出，当无压缩空气时，缸的活塞杆在弹簧力作用下回缩。气缸活塞上永久磁环可用于驱动磁感应传感器动作。如图 3-1、图 3-2 所示。

对于单作用气缸来说，压缩空气仅作用在气缸活塞的一侧，另一侧则与大气相通。气缸只在一个方向上做功，气缸活塞在复位弹簧或外力作用下复位。

在无负载情况下，弹簧力使气缸活塞以较快速度回到初始位置。复位力大小由弹簧自由长度决定，因此，单作用气缸的最大行程一般为 100mm。



图 2-1 单作用气缸实物示意图

单作用气缸具有一个进气口和一个出气口。出气口必须洁净，以保证气缸活塞运动时无故障。通常，将过滤器安装在出气口上。

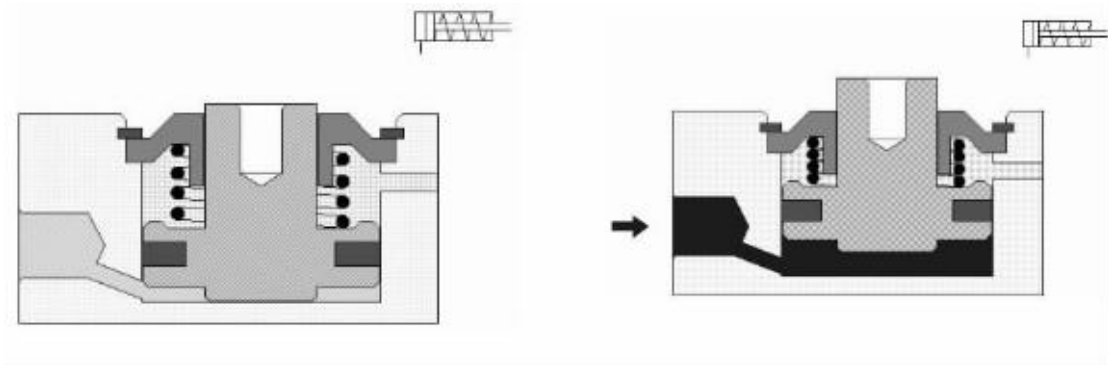
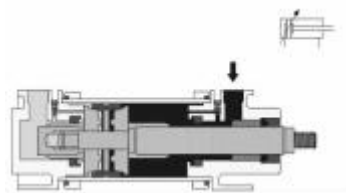


图 3-2 单作用气缸示意图

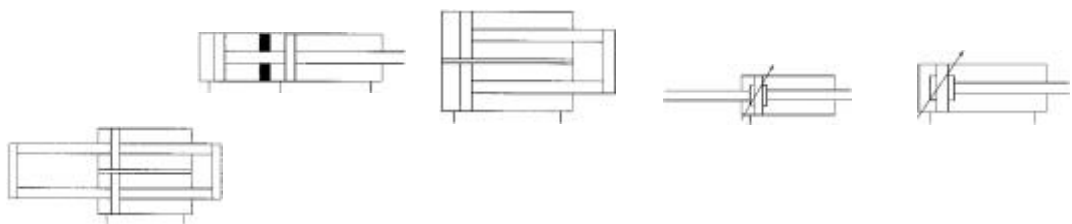
图 3-3 双作用气缸示意图



2. 双作用气缸

如图 3-3 所示。气缸两个方向的运动都是通过气压传动进行的，气缸的内部结构如图所示，它的两端具有缓冲。在气缸轴套前端有一个防尘环，以防止灰尘等杂质进入气缸腔内。前缸盖上安装的密封圈用于活塞杆密封，轴套可为气缸活塞杆导向，其由烧结金属或涂塑金属制成。指出缸体、活塞、缸盖、活塞密封、活塞杆、轴套和防尘环。

以下为几种类型的双作用气缸：



双作用气缸

双端活塞杆气缸

双活塞杆气缸

两个双端活塞杆

多位气缸

(1) 双作用气缸

在压缩空气作用下，双作用气缸活塞杆既可以伸出，也可以双作用气缸回缩。通过缓冲调节装置，可以调节其终端缓冲。气缸活塞上永久磁环可用于驱动行程开关动作。

(2) 双端活塞杆气缸

在压缩空气作用下，双端活塞杆气缸的活塞杆可以双端伸出双端活塞杆气缸或回缩。通过缓冲装置，可以调节其终端缓冲。

(3) 双活塞杆气缸

双活塞杆气缸具有两个活塞杆。在双活塞杆气缸中，通过连接板将两个并列的活塞杆连接起来，在定位和移动工具或工件时，双活塞杆气缸这种结构可以抗扭转。此外，与相同缸径的标准气缸比较，双活塞杆气缸输出力是其输出力的两倍。

(4) 两个双端活塞杆

这个双活塞杆气缸具有两个双端活塞杆。在该气缸中，通过两个连接板将两个并列的双端活塞杆连接起来，在定位和移动工具或工件时，这种结构可以抗扭转。此外，与相同缸径的标准气两个双端活塞杆缸比较，这个双活塞杆气缸输出力是其输出力的两倍。

(5) 多位气缸

通过将缸径相同但行程不同的两个气缸连接起来，可以使组合后的气缸具有三个停止位置（左位、中位和右位）。以第一个停止位置为基准，多位气缸可以直接或通过中间停止位置到达第三多位气缸个停止位置。注意：后动气缸行程必须大于先动气缸行程，后动气缸行程通常为先动气缸行程的两倍。当多位气缸回缩时，中间

停止位置需采用特殊控制。

3. 无杆气缸（缸的两端均没有活塞杆）

它比有杆气缸节约很多安装空间，如图 3-4 所示为磁耦合无杆气缸。

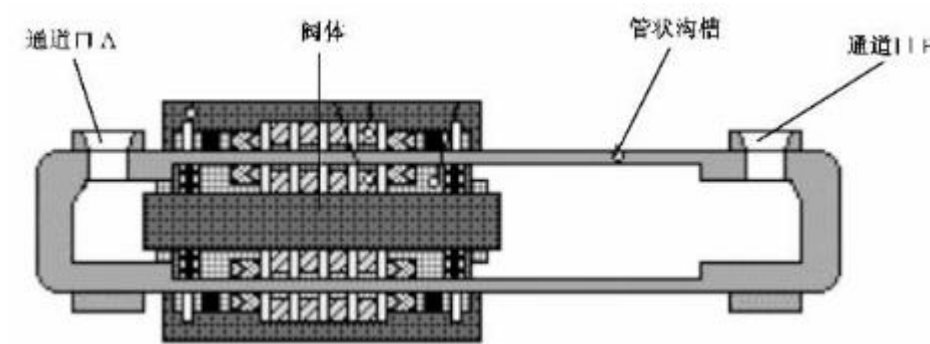
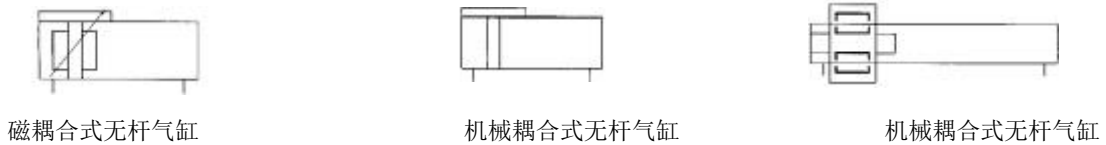


图 3-4 无杆双作用气缸示意图

以下为几种类型的无杆气缸：



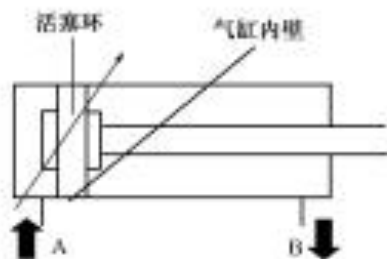
(1) 磁耦合式无杆气缸在压缩空气作用下，无杆气缸滑块可以作往复运动。

(2) 机械耦合式无杆气缸（未带终端缓冲）在压缩空气作用下，活塞—滑块机械组合装置可以作往复运动。这种无杆气缸通过活塞—滑块机械组合装置传递气缸输出力，缸体上管状沟槽机械耦合式无杆气缸可以防止其扭转。

(3) 机械耦合式无杆气缸（带终端缓冲）在压缩空气作用下，活塞—滑块机械组合装置可以作往复运动。这种无杆气缸通过机械耦合式无杆气缸过活塞—滑块机械组合装置传递气缸输出力，缸体上管状沟槽可以防止其扭转。

二、气缸密封

(一) 气缸密封的必要性



如图 3-5 所示，要使气缸的活塞杆往外动作，那么 A 工作口就要通入压缩气体；而 B 口就要连到配气口。如果活塞环与气缸内壁没有密封或密封不好，那么压缩气体就会从活塞环与气缸内壁之间泄漏到有杆腔（有活塞杆的一侧），从而影响气缸的运动特性（变慢）。反之，如要气缸活塞杆回缩到最内端，那么 B 工作口就要通入压缩气体；而 A 口就要连到配气口。同样，如有泄漏，气缸的回程动作特性也会受到影响。因此，在活塞环表面与气缸内壁之间，必须要有密封件。

图 3-5 双作用气缸筒示意

缸筒示意

(二) 气缸密封方式

一般而言，根据活塞环的形状，大致有以下两种密封方式，如图 4-6a 和图 4-6b 所示。所用密封材料为：

丁腈橡胶：工作温度-20℃~+80℃

氟橡胶：工作温度-20℃~+190℃

聚四氟乙烯：工作温度-20℃~+200℃

注意为了提高可靠性，应根据温度范围选择合适的密封材料。

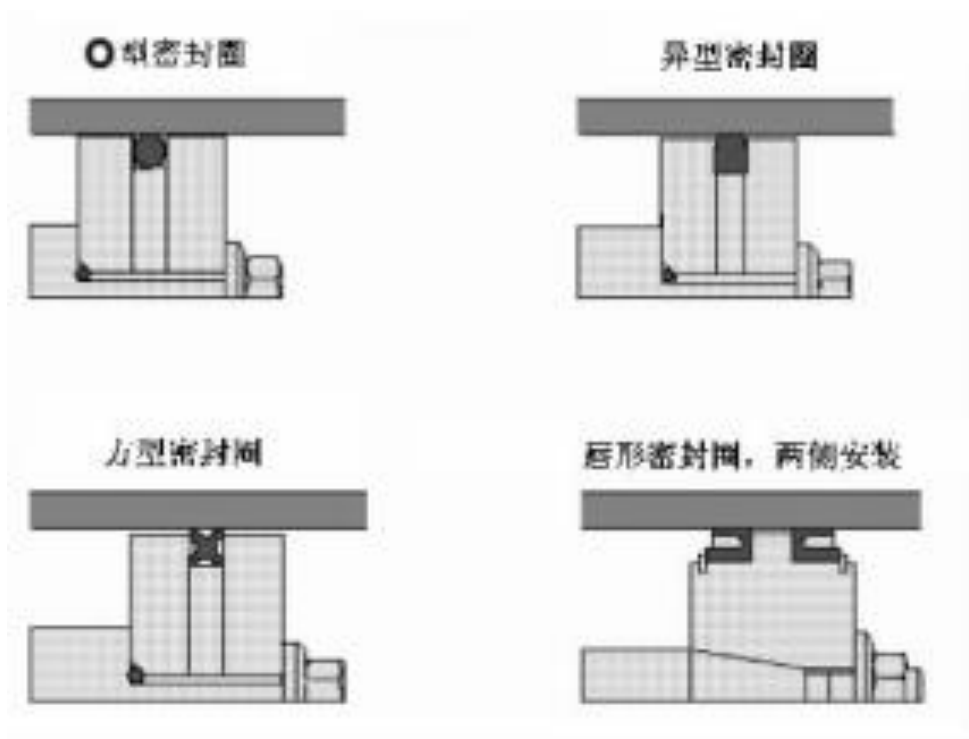


图 3-6 气缸活塞密封 (a)

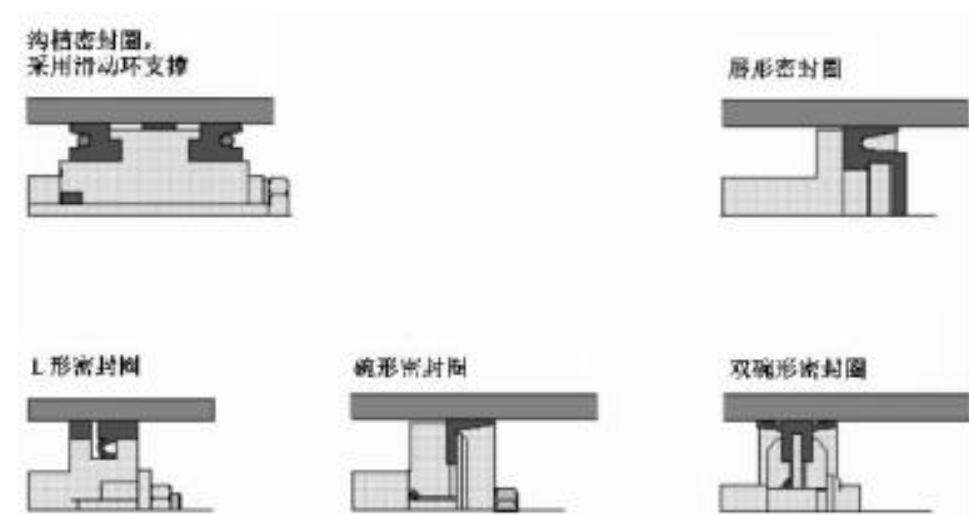


图 3-6 气缸活塞密封 (b)

三、气缸的爬行

在气动自动化系统中，气缸的运动速度有时需要调节，而调节气缸速度最简单的方法是在气缸的进气口和排气口安装单向节流阀，这种方法又称为节流调速，如图 3-7 所示。其中，图 (a) 为进气节流，图 (b) 为排气节流。

值得注意的是，若采用图 3-7(a) 所示的进气节流调速时，气缸容易产生爬行现象，其原因是采用进气节流而导致进气流量少，排气流量大。若以活塞杆伸出为例，则此时气缸有杆腔内的气体压力很快降低，而无杆腔气体压力上升较慢，当有杆腔和无杆腔的压力差刚好克服各种阻力负载时，活塞就向前运动，但由于此时无杆腔容积变化增加较大，而供气流量不足，致使无杆腔中的空气压力又进一步下降，可能使活塞两侧的压力差所产生的作用力小于各种阻力负载，此时活塞就停止前进，直到无杆腔继续进气，活塞重新开始向前运动。这种使活塞产生忽停忽走，或忽快忽慢的运动现象称为气缸的爬行，故通常在气缸的调速中一般不选用进气节流，而选用排气节流的方法。

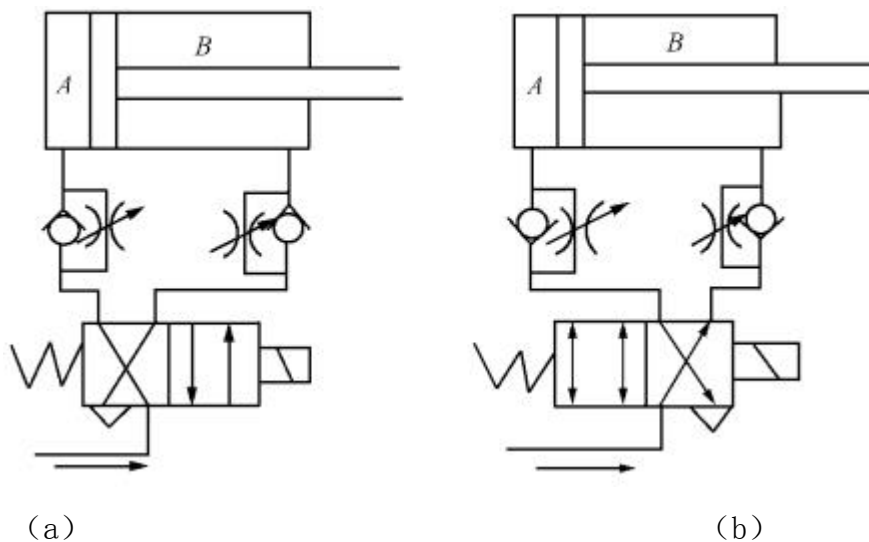


图 3-7 气缸的节流调速原理

四、气缸的自走

气缸的运动过程中，当外界负载变化较大时，即使采用排气节流调速也难以使气缸速度平稳。这是因为负载变化时，空气介质有可压缩性，气缸两腔室中的压力差随之变化而引起平衡破坏，为了达到新的平衡，只能依靠两腔室中气体的膨胀或压缩来自行调节。

例如，当外界负载突然变大时，气缸活塞杆不但不前进，反而后退；若负载突然减小时，则能引起气缸活塞向前冲。这种由于外界负载突然变化而引起气缸速度变化的现象称为自走。要消除气缸的自走现象，可借助于气-液阻尼缸解决。

五、气缸安装形式

气缸安装方式由气缸与设备之间连接形式决定。若在任何时候都不需要变换气缸安装方式，则可将安装方式设计为固定式，相反，应将安装方式设计为非固定式，即按模块式构造准则，通过采用安装附件，可以改变气缸安装方式。

选择安装形式：由气缸的安装位置、使用目的等因素来决定。其原则是：负载作用力方向应始终与气缸轴线方向一致，以防活塞杆受弯曲力的作用。

(1) 耳轴或耳环式安装

如图 3-8 (a) 所示：常用于非固定安装，如轴销式，气缸可以绕轴摆动。

其中：前耳轴安装和后耳环安装方式，适用于行程较短的气缸；中间耳轴安装方式，一般用于行程较长的气缸。

(2) 利用螺纹轴颈安装

如图 3-8 (b) 所示。当行程和负载较小，同时，安装空间有限的情况下，一般就可以直接气缸螺纹轴颈安装。

(3) 两端支架式（轴向耳座）安装

如图 3-8 (c) 所示。当行程和负载较大时，一般就可以用两端支架式安装。轴向耳座上承受力距。当气缸直径越大，所受的力矩也越大。

(4) 法兰式安装

如图 3-8 (d) 所示。对于前法兰安装方式，安装螺钉受拉力较大。对于后法兰安装方式，安装螺钉受拉力较小，法兰可根据安装条件选配。

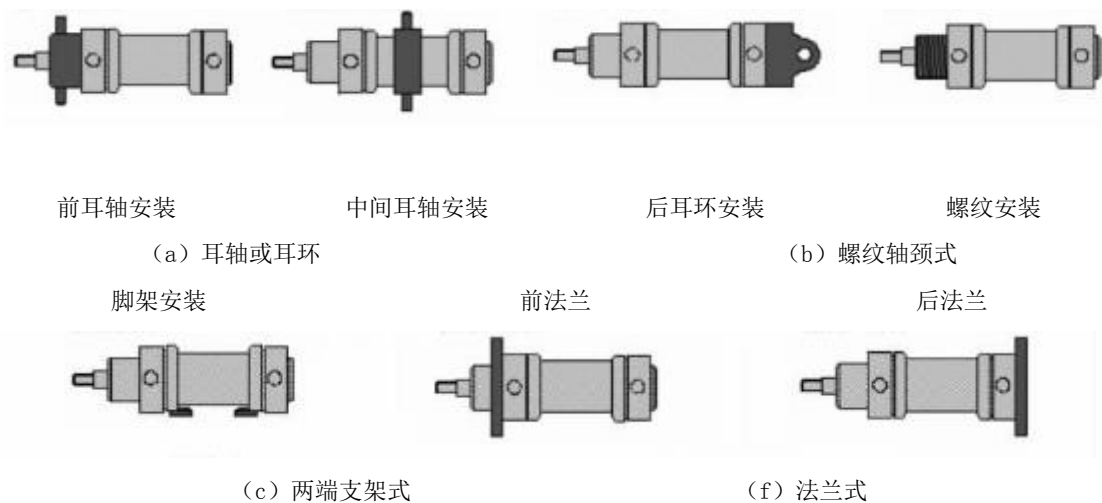


图 3-8 气缸安装形式



六、气缸的选择及使用要求

使用气缸应首先立足于选择标准气缸，其次才是自行设计气缸。

（一）气缸的选择要点

（1）气缸输出力的大小根据工作机构所需力的大小来确定活塞杆上的输出力（推力或拉力）。一般按公式计算出活塞杆的输出力再乘以 1.15~2 的备用系数，并据此去选择和确定气缸内径。为了避免气缸容积过大，应尽量采用扩力机构（参考有关手册的气缸应用举例），以减小气缸尺寸。

（2）气缸行程的长度它与使用场合和执行机构的行程长度有关，并受结构的限制，一般应比所需行程长 5~10mm。

（3）活塞（或缸）的运动速度它主要取决于气缸进、排气口及导管内径的大小，内径越大则活塞运动速度越高。为了得到缓慢而平稳的运动速度，通常可选用带节流装置或气—液阻尼装置的气缸。

（4）安装方式它由安装位置、使用目的等因素来决定。工件作周期性转动或连续转动时，应选用旋转气缸，此外在一般场合应尽量选用固定式气缸。如有特殊要求，则选用相适应的特种气缸或组合气缸。

（二）气缸的使用要求

（1）气缸一般的工作条件是：周围介质温度为-35~80℃，工作压力为 0.4~0.8Mpa

（2）安装时要注意运动方向。活塞杆不允许承受偏载或径向负载。

（3）在行程中负载有变化时，应使用输出力有足够余量的气缸，并要附加缓冲装置。

（4）不使用满行程。特别当活塞杆伸出时，不要使活塞与缸盖相碰，否则容易破坏零件。

（5）应在气缸进气口设置油雾器进行润滑。气缸的合理润滑极为重要，往往因润滑不好而产生爬行，甚至不能正常工作。不允许用油润滑时，可用无油润滑气缸。



第二节 气缸的工作特性

一、气缸的输出力

1. 单作用式气缸

$$\text{输出推力: } F=P_1A_1-(f+m \times a+L_0K_s) \quad (3-1)$$

式中 A_1 为活塞的工作面积; P_1 为作用于活塞上的压力; f 为摩擦阻力; m 为运动构件质量; a 为运动构件加速度; K_s 为弹簧刚度; L_0 为活塞位移 L 和弹簧预压缩量的总和。

在一般的计算过程中, 单作用式气缸的输出推力可按简化式计算:

$$F=(P_1A_1-L_0K_s) \eta \quad (3-2)$$

式中 η 为气缸的效率, 一般取 0.7~0.95。

2. 双作用式气缸

$$\text{输出推力: } F=P_1A_1-P_2A_2-(f+ma) \quad (3-3)$$

式中 P_1 、 P_2 为输入侧和输出侧的气压; A_1 、 A_2 为输入侧和输出侧的面积; 其余符号意义同上。在一般的计算过程中, 双作用式气缸的输出推力可按简化式计算:

$$F=(P_1A_1-P_2A_2) \eta \quad (3-4)$$

式中 η 为气缸的效率, 一般取 0.7~0.95。

二、气缸的压力特性

气缸的压力特性是指气缸内压力随负载变化的情形。

气缸被活塞分为进气腔和排气腔, 当压缩空气进入进气腔时, 排气腔处于排气状态, 两腔的压力差所形成的力刚好克服各种阻力负载时, 活塞就开始运动。

三、气缸的速度

由于气体的可压缩性及推动活塞的力变化的复杂性, 要使气缸保持准确的运动速度是比较困难的。

气缸的平均运动速度可按进气量的大小求出:

$$v=q/A \quad (3-5)$$

式中 q 为压缩空气的体积流量; A 为活塞的有效面积。

气缸在一般工作条件下, 其平均速度约为 0.5m/s 左右。



四、气缸的耗气量

计算耗气量，是选择气源供气量的重要依据。

气缸的耗气量与气缸的活塞直径 d 、活塞杆直径 d_1 、活塞的行程 L 以及单位时间往复次数 N 有关。以单出杆双作用气缸为例：

$$V_1 = \frac{\pi d^2 L}{4} \quad (3-6)$$

$$V_2 = \frac{\pi (d^2 - d_1^2) L}{4} \quad (3-7)$$

活塞往复一次所耗压缩空气量：

$$V = V_1 + V_2 = \frac{\pi (2d^2 - d_1^2) L}{4} \quad (3-8)$$

若活塞每分钟往复 N 次，则每分钟耗气量：

$$V' = V \times N \quad (3-9)$$

由于泄漏等原因，实际耗气量比理论耗气量要大一些，实际耗气量为：

$$V_s = (1.2 \sim 1.5) V' \quad (3-10)$$

$$\text{自由空气的耗气量为：} V_{sz} = V_s (p + 0.1013) / 0.1013 \quad (3-11)$$

其中， p 为气体的工作压力 (MPa)。

五、负载率 β

$$\text{负载率 } \beta = \frac{\text{气缸的实际负载 } F}{\text{气缸的理论输出力 } F_0} \times 100\% \quad (4-11)$$

气缸的实际负载是由工况决定的，若确定了 β ，则就可以确定气缸的理论输出力 F_0 ，从而可以计算气缸的缸径。 β 的选取与气缸的负载性能及气缸的运动速度有关。

对于阻性负载，如气缸用作气动夹具，负载不产生惯性力的静负载，一般 β 选取为 0.8。

对于惯性负载，如气缸用来推送工件，负载将产生惯性力， β 的取值为：

$$\beta \leq 0.65 \text{ 气缸作低速运动, } v < 100 \text{ mm/s}$$

$$\beta \leq 0.50 \text{ 气缸作低速运动, } v < 100 \sim 500 \text{ mm/s}$$

$$\beta \leq 0.35 \text{ 气缸作低速运动, } v > 500\text{mm/s}$$

六、缸径的一般计算

已知气缸带动的负载、运动状态和工作压力，就可以进行气缸缸径的计算和选用。一般步骤如下：

- ① 根据气缸带动的负载，计算气缸的轴向负载力 F
- ② 由气缸的平均速度，选定气缸的负载率 β 。一般而言，气缸的速度越高， β 越小。
- ③ 若系统的工作压力为 0.6MPa，气缸的工作压力计算时一般选为 0.4MPa。如果系统压力小于 0.6MPa，气缸的工作压力也应相应地调整。
- ④ 根据表 4-1，计算缸径，然后再根据标准缸径选择。

表 3-1 气缸的理论输出力 F_0 计算公式

形式	双作用气缸	单作用气缸	
		预缩性	预伸性
推力	$\frac{\pi}{4}D^2\rho$	$\frac{\pi}{4}D^2\rho - F_{t2}$	F_{t1}
拉力	$\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)\rho$	F_{t1}	$\frac{\pi}{4}(D^2-d^2)\rho - F_{t2}$

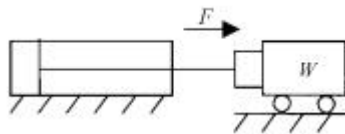


图 3-9 滚动方式

通常缸径计算到此为止，但若气缸的缓冲性能校核不符合要求，一般应增加外部缓冲装置；如油缓冲、弹簧缓冲或缓冲回路，保证气缸的缓冲。

例如：如图 3-9 所示，气缸推动工件在滚动，已知工件等运动件质量 $m=250\text{kg}$ ，工件与安装面的滚动摩擦系数为 $\mu=0.1$ ，气缸行程为 300mm，，动作时间 $t=1\text{s}$ ，工作压力 $p=0.4\text{MPa}$ ，试选定缸径。

解：



气缸的轴向负载力 $F = \mu mg = 0.1 \times 9.8 = 245\text{N}$

气缸平均速度 $v = \frac{s}{t} = 300/1 = 300\text{mm/s}$, 选取 $\beta = 0.5$ 。

理论输出力 $F_0 = \frac{F}{\beta} = 245/0.5 = 490\text{N}$

由于是双作用气缸, 所以其缸径 $D = \sqrt{\frac{4F_0}{\pi \cdot p}} = \sqrt{\frac{4 \times 490}{\pi \times 0.4}} = 39.5\text{mm}$

故选取双作用气缸的直径为 40mm。

[思考与练习题]

1. 根据压缩空气对活塞端面的方向, 执行元件可分为哪几类?
2. 根据气缸的结构特征, 执行元件可分为哪几类?
3. 根据气缸的安装形式, 执行元件可分为哪几类?
4. 根据气缸的功能, 执行元件可分为哪几类?
5. 简述单作用气缸和双作用气缸的工作特性。
6. 简述摆动气缸和旋转马达的工作特性。
7. 单作用气缸内径 $d = 63\text{mm}$, 复位弹簧最大反力 $F = 150\text{N}$, 工作压力 $p = 0.5\text{MPa}$, 负载效率为 0.4, 求该气缸的推力为多少?
8. 单杆双作用气缸内径 $d = 125\text{mm}$, 活塞杆直径 $d_1 = 36\text{mm}$, 工作压力 $p = 0.5\text{MPa}$, 气缸负载效率为 0.5, 求该气缸的拉力和推力各为多少?
9. 单杆双作用气缸内径 $d = 100\text{mm}$, 活塞杆直径 $d_1 = 40\text{mm}$, 行程 $L = 450\text{mm}$, 进退压力均为 $p = 0.5\text{MPa}$, 在运动周期 $T = 5\text{s}$ 下连续运转, $\eta = 0.9$, 求一个往返行程所消耗的自由空气量为多少?

[本章小结]

本章主要介绍了气压传动系统中的执行机构: 气缸(直线运动或摆动)、气马达(回转运动)。重点是要学员了解气动执行机构的工作方式、特点及其应用场合。同时, 本章也给出了气动执行元件——气缸的力、缸径和耗气量的初步计算; 在实际工作中, 要注意活塞杆的弯曲强度和挠度的计算(可查阅相关的手册)。



第四章 气动控制元件

[教学目标]

- (1) 了解气动系统的主要控制元件的种类、工作方式、特点
- (2) 了解气动控制元件的安装及其调整
- (3) 了解一些气动控制元件的选用及其注意点

[教学大纲]

本章主要介绍了气压传动系统中的压力、流量和方向控制元件。重点是要学员了解气动控制元件的工作方式、特点及其应用场合。同时，本章也给出了基本的气动逻辑控制元件。

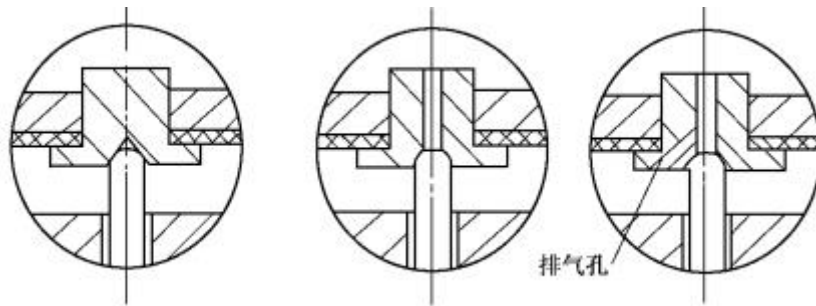
第一节 压力控制阀

在气动系统中，用来控制与调节压缩空气的压力、流量、流动方向和发送信号，使气动执行元件能按控制要求工作的元件称为**气动控制元件**。

由于气源空气压力往往比每台设备实际所需要的压力高些，同时压力波动值比较大，因此需要用减压阀将其压力减到每台设备所需要的压力。减压阀的作用是将输出压力调节在比输入压力低的调定值上，并保持稳定不变。减压阀也称**调压阀**。气动减压阀与液体减压阀一样，也是以出口压力为控制信号的。

一、减压阀（调压阀）

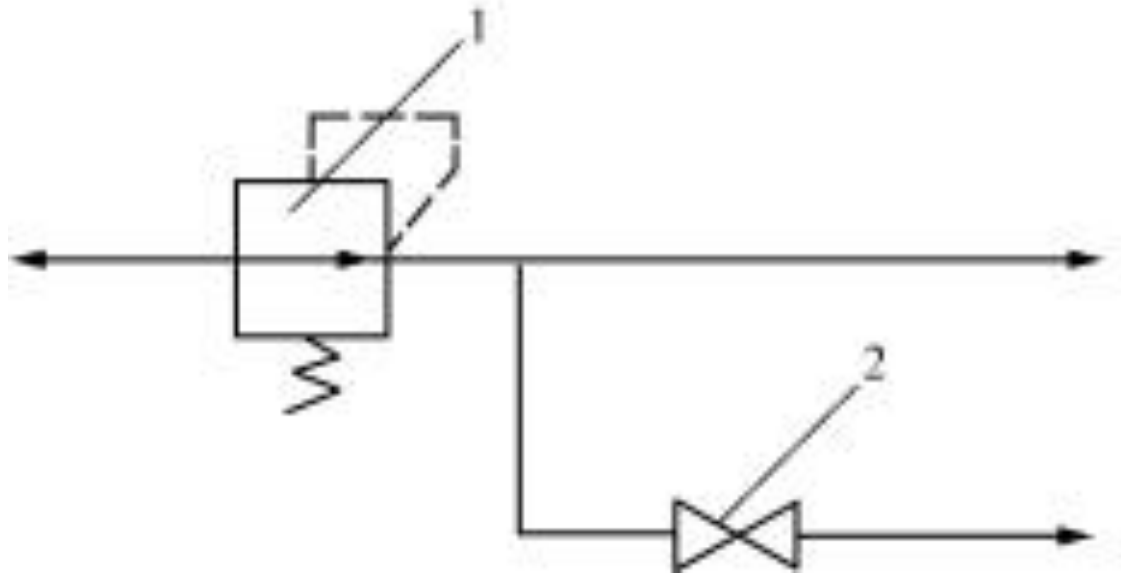
减压阀的溢流结构有溢流式、非溢流式和恒量排气式三种（图 4-1）。



(a) 非溢流式 (b) 溢流式 (c) 恒量排气式

图 4-1 减压阀的溢流结构

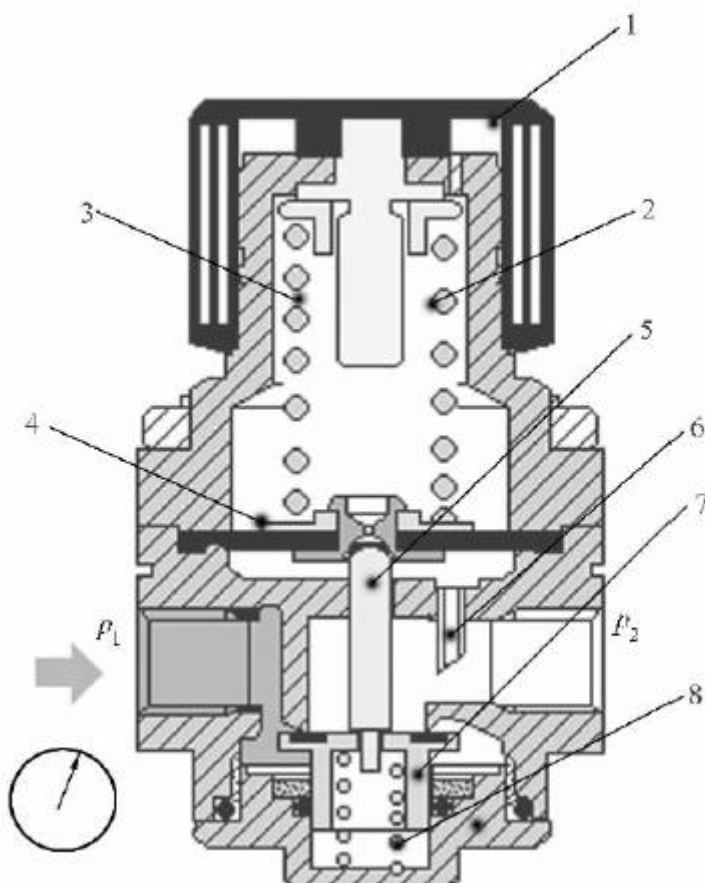
图 5-2 非溢流式减压阀的应用 1-减压阀 2-放气阀



溢流式减压阀是当减压阀的输出压力超过调定压力时，气流能从溢流孔中排出，维持输出压力不变；非溢流式减压阀没有溢流孔，使用时回路中要安装一个放气阀（图 5-2），以排出输出侧的部分气体，它适用于调节有害气体的压力；恒量排气式减压阀始终有微量气体从溢流阀座上的小孔排出。

（一）减压阀的工作原理

图 4-3 为直动式减压阀的结构原理图。如顺时针旋转手柄 1，经过调压弹簧 2、3，推



动膜片 4 和阀杆 5 下移，使阀心 7 也下移，打开阀口便有气流输出。同时，输出气压经阻尼孔 6 在膜片 4 的下表面产生向上的推力。这个作用力总是企图把阀口关小，使输出压力下降，这样的作用称为负反馈。当作用在膜片上的反馈力与弹簧力相平衡时，减压阀便有稳定的压力输出。

当减压阀输出负载发生变化，如压力增高，则输出端压

力将膜片向上推，阀心 7 在复位弹簧 8 的作用下向上移，减小阀口开度，使输出压力下降，直至达到调定的压力为止。反之，当输出压力下降时，弹簧 2 和 3 的压力使阀的开度增大，流量加大，使输出压力上升直到调定值，从而保持输出压力稳定在调定值上。阻尼孔的主要作用是提高调压精度，并在负载变化时，对输出的压力波动起阻尼作用，避免产生振荡。

图 4-3 直动式减压阀的结构原理图

1—手柄 2—调压弹簧 3—膜片 4—阀杆
5—阻尼孔 6—阀心 7—复位弹簧

当减压阀进口压力发生波动时，输出压力也随之变化并直接通过阻尼孔作用在膜片下部，使原有的平衡状态破坏，改变阀口的开度，达到新的平衡，保持

其输出压力不变。

逆时针旋转手柄：调压弹簧放松，膜片在输出压力作用下向上变形，阀口变小，输出压力降低。

(二) 压力特性和流量特性

(1) 压力特性减压阀的压力特性是在一定的流量下，输出压力和输入压力之间的函数关系(图 4-4)。它是指流量 q 为定值时，因输入压力 P_1 波动而引起输出压力 P_2 波动的特性。输出压力波动越小，减压阀的特性越好。只有当输出压力 P_2 必须低于输入压力 P_1 一定值时，输出压力 P_2 基本上不随输入压力变化而变化。如图 4-5 所示。对比减压阀的压力特性曲线可知，当输出压力较低、流量适当时，减压阀的稳压性能最好。当输出压力较高、流量太大或太小时，减压阀的稳定性能较差。

(2) 流量特性流量特性表示输入压力 P_1 为定值时，输出流量 q 和输出压力 P_2 之间的函数关系(图 4-5)。根据减压阀的流量特性曲线，输入压力一定时，输出压力越低，流量变化引起输出压力的波动越小。

当流量 q 发生变化时，输出压力 P_2 的变化越小越好。一般输出压力 P_2 越低。它随输出流量的变化波动就越小。如图 4-5 所示。

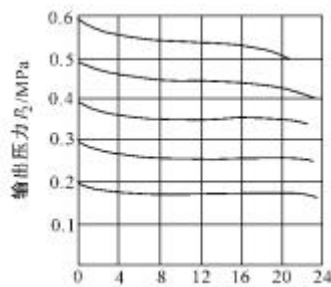


图 4-4 压力特性曲线流量 $q=5\text{m}^3/\text{h}$

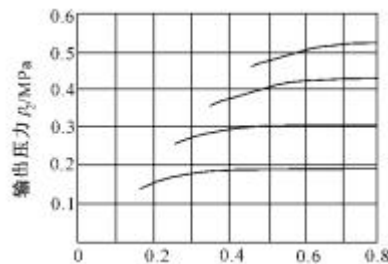


图 4-5 流量特性曲线输入压力 $P_1=0.7\text{Mpa}$

减压阀的结构直接影响阀的调压精度。对于直动式减压阀来说，弹簧刚度越小，调压精度越高。但弹簧刚度不能太小，因为弹簧力要与阀工作压力和公称流量相适应；膜片直径越大，调压精度越好，但又不能太大，以免影响弹簧刚度和阀结构的大小；在保证密封的前提下，应尽量减少阀心上密封圈产生的摩擦力以便提高调压精度。

（三）先导式减压阀

当减压阀的输出压力较高或配管内径很大时，用调压弹簧直接调压，同直动式液压减压阀一样，输出压力波动较大，阀的尺寸也会很大，为克服这些缺点可采用先导式减压阀。

先导式减压阀工作原理和主阀结构与直动式减压阀基本相同。先导式减压阀所采用的调压空气是由小型直动式减压阀供给的。若把小型直动式减压阀装在主阀的内部，则称为内部先导式减压阀。若将小型直动式减压阀装在主阀的外部，则称为外部先导式减压阀。先导式减压阀对阀芯控制的灵敏度提高，使输出压力的波动减小，因而稳压精度比直动式减压阀高。

图 4-6 所示为内部先导式减压阀的结构简图。图 4-7 所示为外部先导式减压阀的主阀。其工作原理与直动式阀相同。在主阀体外部还有一个小型直动式减压阀（图中未示出），由它来控制主阀。此类阀适于通径在 20mm 以上，远距离（30m 以内）、高处、危险处、调压困难的场合。

1. 减压原理

如图 5-6 所示，当出口压力 P_2 低于先导阀的调定压力时，先导阀关闭，阻尼孔 e 内没有气体流动，主阀芯上下气腔（A、B）气压相等，在主阀弹簧的作用下，阀芯处最下端。这时减压阀口全开，气体流过阀口的压降很小，基本不起减压作用。当出口压力上升到先导阀调定压力时，先导阀被推开（图中向上），阀腔里气体开始流动，由于阻尼孔的作用使得主阀芯上下腔形成压力差（下腔 A 的压力大于上腔 B 的压力），当这个压差产生的作力大于主阀弹簧的预压缩力时，则主阀芯向上移动，阀口。

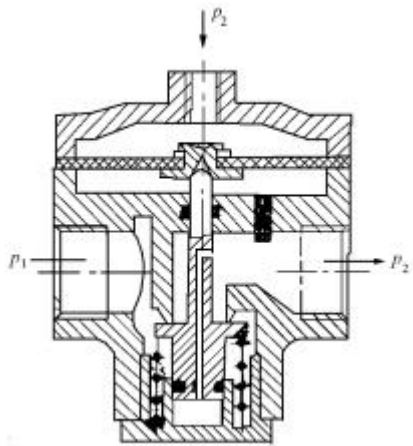


图 4-6 内部先导式减压阀图

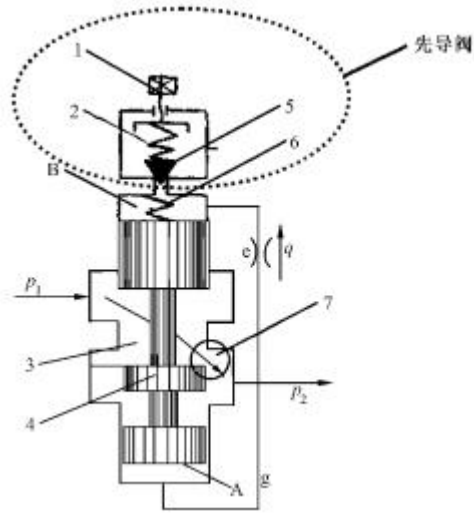


图 4-7 外部先导式减压阀的主阀

- 1—旋钮 2—调压弹簧 3—阀腔 4—主阀芯
5—锥阀 6—主阀弹簧 7—减压阀口
A—下气室 B—上气室 e—阻尼孔 g—孔道

随之减小，气体流过阀口的压降增加，使减压阀的出口压力低于进口压力。此时主阀芯在弹簧力、气压力以及阀口的气动力共同作用下处于某一平衡位置。只要先导阀弹簧力调定，则出口压力即为定位。调节先导阀弹簧的预压缩力就可以调节出口压力 P_2 的大小。所以，减压阀就是用阀口节流的方法，形成过流阻力来降低出口压力实现减压作用的。

2. 稳压原理

减压阀正常工作时，如果有干扰作用，比如，当进口压力 P_1 突然升高（此时减压阀口不变，压降也不变），出口压力 P_2 也会瞬时随之升高。由于 P_2 升高，破坏了原来的平衡状态，使先导阀阀口开大，流过阻尼孔 e 的流量增加，主阀芯上下腔的压差增大，于是减压阀阀芯上移，阀口关小，节流压降随之增大，使出口压力也随之下降。这样自动调节的结果，最后使 P_2 以一定的精度恢复到原来的调定值。如果减压阀进口压力 P_1 突然减小，引起出口压力 P_2 瞬时下降，根据前述的原理，也能保证出口压力值稳定在原来的调定压力。

由此看来，减压阀的工作特点是：利用出口压力反馈原理和阻尼孔作用，使阀芯上下腔形成压力差，并自动调节阀口开度来改变气流阻力，保证出口压力基本恒定。

事实上，我们所说的减压阀保证出口压力基本恒定，是有一定条件的。即与减压阀出口的负载性质有关。比如负载压力 $P=0$ 时，减压阀的出口压力 $P_2=0$ 负载压力 P 小于减压阀的调定压力时，导阀关闭，不起调节作用， $P = P_2$ ；当负载压力大于或等于减压阀的调定压力时，由于减压阀的自动调节作用，可基本保证减压阀的出口压力等于调定压力。

（四）减压阀的选择与使用

为使气动控制系统能正常工作，选用减压阀时应考虑下述一些问题：

（1）根据所要求的工作压力、调压范围、最大流量和稳压精度来选择减压阀。减压阀的公称流量是主要参数，一般与阀的接管口径相对应。稳压精度高时应选用先导式精密减压阀。

（2）在易燃、易爆等人不直接接近的场合，应选用外部先导式减压阀。但遥控距离不宜超过 30m。

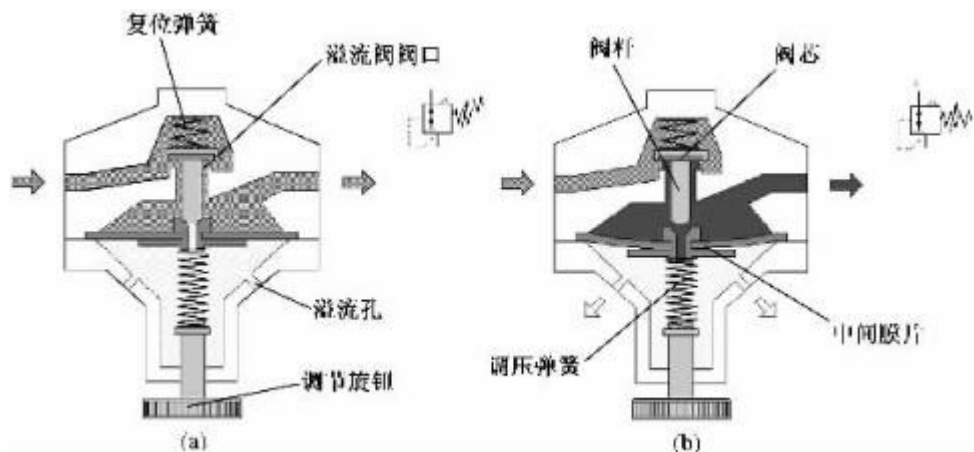
（3）减压阀一般都用管式连接，特殊需要也可用板式连接。减压阀常与过滤器、油雾器联用，若此则应考虑采用气动二联件或三联件，以节省空间。

（4）为了操作方便，减压阀一般都是垂直安装，且按阀体箭头指向接管，不能将方向装错。安装前要做好清洁工作。

（5）减压阀不用时应旋松手柄，以免阀内膜片因长期受力而变形。

二、溢流阀

（一）溢流阀简介



如图 4-8 所示，图（a）表示正常工作时的情况。图（b）表示工作压力增大的情况。

图 4-8 溢流阀

不论进气压力是否波动，溢流阀都可以保持工作进口处的压力恒定不变。当耗气量增加时，工作压力降低，在调压弹簧作用下，溢流阀阀口开大，进入的压缩空气流量就增大。若工作压力增大，则中间膜片打开，压缩空气就经阀体上的溢流孔排出。



溢流阀的结构有球阀式和膜片式，按动作原理分则有直动式和先导式两种。

（二）溢流阀的使用

（1）作溢流阀用用于调节和稳定系统压力。正常工作时，溢流阀有一定的开启量，使一部分多余气体溢出，以保持进口处的气体压力基本不变，即保持系统压力基本不变。所以溢流阀的调节压力等于系统的工作压力。

（2）作安全阀用用于保护系统，当系统以调整的压力正常工作时，此阀关闭。不溢流。只有在系统因某些原因（如过载等）压力升高到超过工作压力一定数值时，此阀开启，溢流泄压，对系统起到安全保证作用。所以用作安全阀时其调整压力要高于系统工作压力。

（三）溢流阀与减压阀的对比

溢流阀与减压阀在结构上很相似，主阀体和（先导阀）一般可通用，所不同的是主阀芯的结构。溢流阀在初始状态下阀口是关闭的，而减压阀是全开的。还有，溢流阀是利用进口压力来控制阀芯移动，保持进口压力基本恒定的；而减压阀是利用出口压力来控制阀芯移动的，所以它保证出口压力基本恒定，以上 2 点差别从它们的图形符号上也可以看出。

第二节 流量控制阀

与液压流量控制阀一样，气压传动中的流量控制阀也是通过改变阀的通流面积来实现流量控制的，其中包括节流阀、单向节流阀和排气消声节流阀等。

一、节流阀

常见的节流口形状如图 4-9 所示。对于节流阀调节特性的要求是流量调节范围大、阀心的位移量与通过的流量成线性关系。节流阀节流口的形状对调节特性影响较大。对于针阀型来说，当阀开度较小时调节比较灵敏，当超过一定开度时，调节流量的灵敏度就差了。三角沟槽型通流面积与阀心位移量成线性关系。圆柱斜切型的通流面积与阀心位移量成指数（指数大于 1）关系，能进行小流量精密调节。

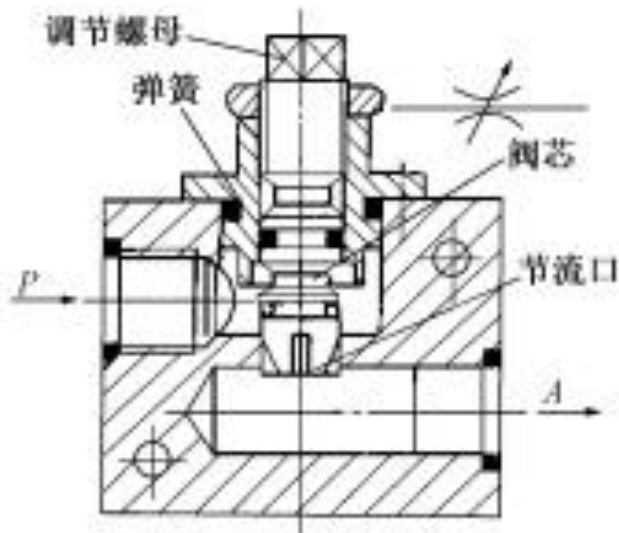
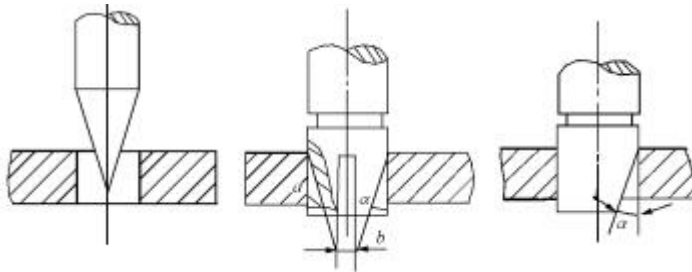


图4-9常用节流口形式

(a) 针阀型 (b) 三角沟槽型 (c) 圆柱斜切型

图 4-10 为节流阀的结构图及图形符号。其金属阀心经研配密封，采用三角沟槽式节流口。调节螺纹为细牙螺纹，通过手轮调节阀心的轴向位置即可调节通流面积。此阀常用于速度控制回路及延时回路。

图 4-10 节流阀



(一) 可调节流阀

可调节流阀如图 4-11 所示，且开口度可无级调节，并可保持其开口度不变。可调节流阀常用于调节气缸活塞运动速度，若有可能，应直接安装在气缸上。

(二) 可调节流阀

可调节流阀如图 4-11 所示，且开口度可无级调节，并可保持其开口度不变。可调节流阀常用于调节气缸活塞运动速度，若有可能，应直接安装在气缸上。

(二) 可调节流阀

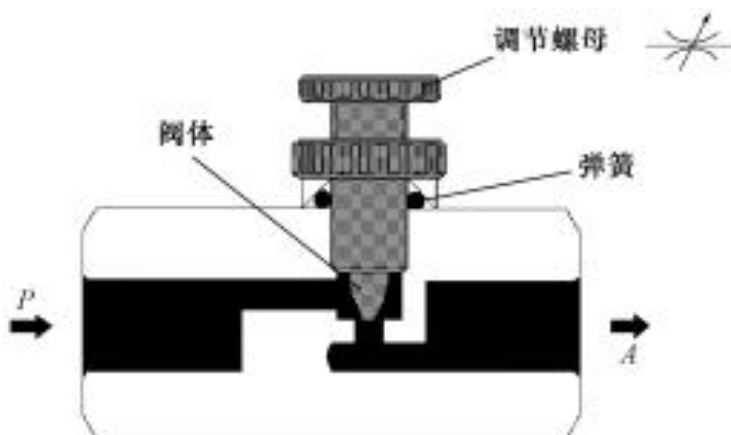
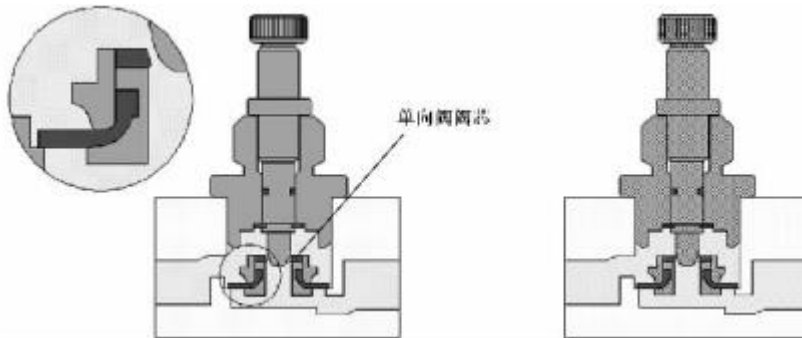


图 4-11 可调节流阀

如图 4-12 所示，可调单向节流阀能够调节压缩空气流量，带锁定螺母，即对其开口度锁定。可调单向节流阀只能在一个方向上可调单向节流阀由单向阀和可调节流阀组成，单向阀在一个方向上可以阻止压缩空气流动，此时，压缩空气经可调节流阀流出，调节螺钉可以调节节流面积。在相反方向上，压缩空气经单向阀流出。



单向阀阀芯

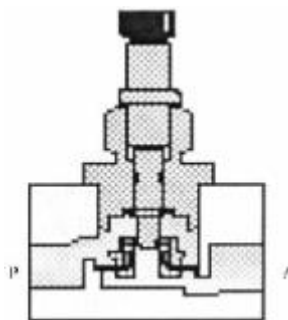


图 4-12 可调单向节流阀

如图 4-13 所示。当气流正向流动时，从进口 P 流向出口 A，中间要经过节流阀的节流孔而受到控制。当气流反向流动时，从 A 口进入推开单向阀阀心直接到达 P 口流出，不必经过节流阀的节流孔。此阀常用于单向节流调速回路中。

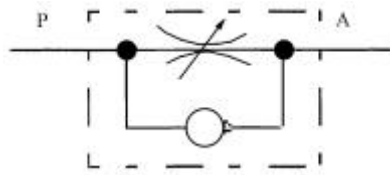


图 4-13 可调单向节流阀符号

二、排气阀

(一) 排气消声节流阀

一般排气节流阀需在排气口串接消声器件，以消除排气噪声。而排气消声节流阀自身装有消声套，见图 4-14 所示。阀的节流口 1 起节流作用，其通流面积可以通过手轮调节。气流通过节流口后经消声套 2 排入大气，减小了排气噪声。此阀一般安装在执行元件的排气口，用以调节执行元件的速度。

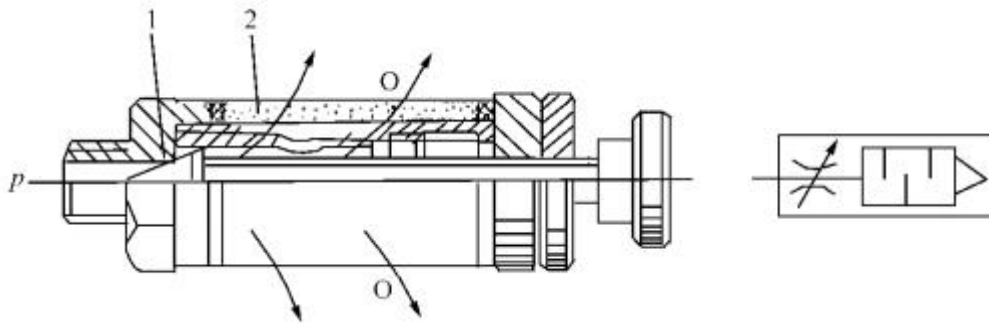


图 4-14 排气消声节流阀工作原理图

1—节流口 2—消声套（铜粉烧结成）

(二) 快速排气阀为了减小流阻，压缩空气从大排气口排出，从而提高了气缸活塞的运动速度。为了降低排气噪声，这种阀一般带消声器。

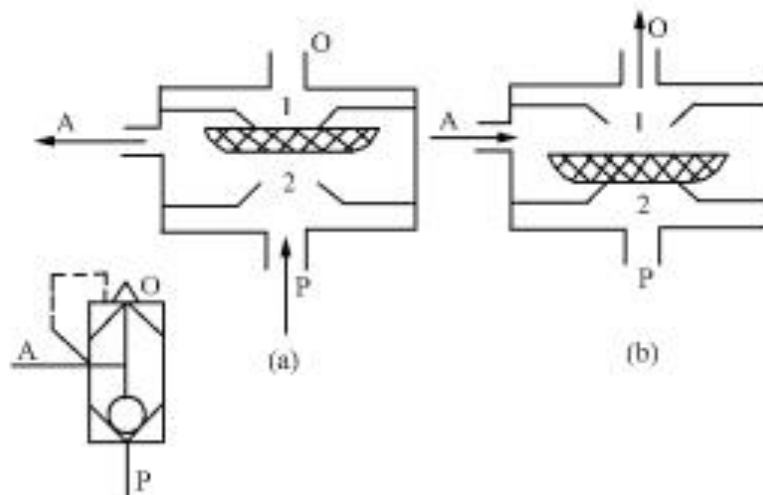


图4-15 快速排气阀

1—排气 2—进气

快速排气阀可使气缸活塞运动速度加快，特别是在单作用气缸情况下，可以避免其回程时间过长。为了减小流阻，快速排气阀应靠近气缸安装，压缩空气通过大排气口排出。

如图 4-15，沿气接口（P）至气接口（A）方向，由于单向阀开启，压缩空气可自由通过，排气口（O）被圆盘式阀芯关闭图（a）。若气接口（A）为进气口，圆盘式阀芯就关闭气接口（P），压缩空气从大排气口（O）排出图（b）。一般情况下，快速排气阀直接安装在气缸上，或靠近气缸安装。

三、流量控制阀的使用

用流量控制阀控制执行元件的运动速度，除了在极少数场合（如气缸推举重物）采用进气节流方式外，一般均采用排气节流方式，以便获得更好的速度稳定性和动作的可靠性。但由于气体的可压缩性大，气压传动速度的控制比液压传动困难。特别是在超低速控制中，单用气动很难实现。一般气缸的运动速度不得低于 30mm/s。在使用流量控制阀控制执行元件速度时必须充分注意下述几点：

- ① 流量阀应尽量安装在气缸附近，以减少气体压缩对速度的影响。
- ② 气缸和活塞间的润滑要好。要特别注意气缸内表面的加工精度和表面粗糙度。
- ③ 气缸的负载要稳定。在外负载变化很大的情况下，可采用气—液联动以便进行较准确的调速。
- ④ 管道上不能存在漏气现象。

第三节 方向控制阀

与液压方向控制阀相同，气动方向控制阀也分为单向阀和换向阀。但由于气压传动具有的特点，气动换向阀按结构不同分为截止式、滑阀式、滑板式、旋塞式等。按控制方式可分为电磁控制、气压控制、机械控制和手动控制等。

截止式特点是行程短，流阻小，结构尺寸小，阀心始终受进气压力所以密封性好，适用于大流量场合。但换向冲击力较大。

滑阀式特点是行程长，开启时间长，换向力小，通用性强，一般要求使用含油雾的压缩空气。

滑板式特点是结构简单，可制成多种形式多通路阀，应用广泛。但运动阻力较大，宜在通径 15mm 以内使用。

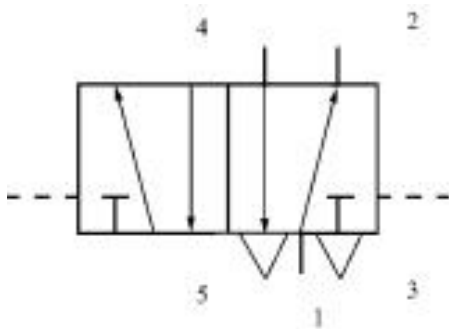
旋塞式特点是运动阻力比滑板式更大，但结构紧凑，通径在 20mm 以上的手动转阀较多应用。下面介绍几种常用的方向控制阀。

一、气控换向阀

气控阀是通过气动信号改变阀位，机控阀是通过机械信号改变阀位。一般来说，其种类较多。下面仅介绍一些常用的气控阀。

（一）二位五通换向阀

图 5-16 和图 5-17 位 5/2 气控换向阀的图形符号。



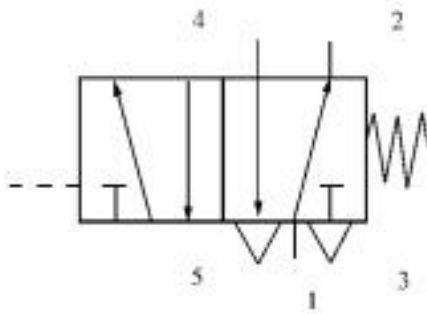


图 4-16 单气控 5/2 阀

图 4-17 双气控 5/2 换向阀

1. 滑柱式

如图 4-18 (a) 所示：二位五通换向阀有五个气接口和两个工作位置，其常用来控制气缸动作。在这种换向阀中，阀芯与阀套之间的间隙不超过 0.002~0.004。图中所示的二位五通换向阀为在控制口 12 上有气信号时的工作状态。

如图 4-18 (b) 所示：为了避免损坏密封件，各气接口通常在阀体上径向分布。图示为在控制口 14 上有气信号时的工作状态。与截止式换向阀相比较，这种换向阀工作行程要大一些。

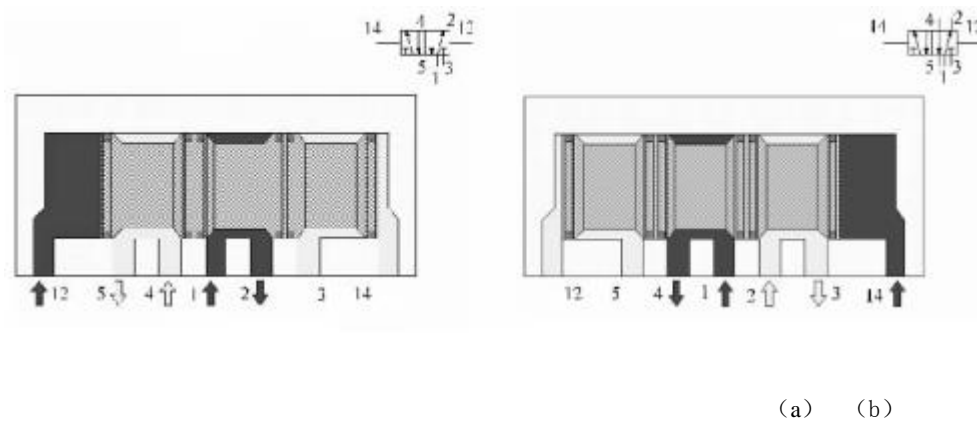


图4-18 二位五通换向阀

2. 圆盘式

如图 4-19 (a) 所示：二位五通换向阀也可采用圆盘密封方式，其启闭行程相对较短。阀口的圆盘密封，既可以使进气口 1 与工作口 2 相通，也可以使进气口 1 与工作口 4 相通。双气控二位五通阀具有记忆功能。

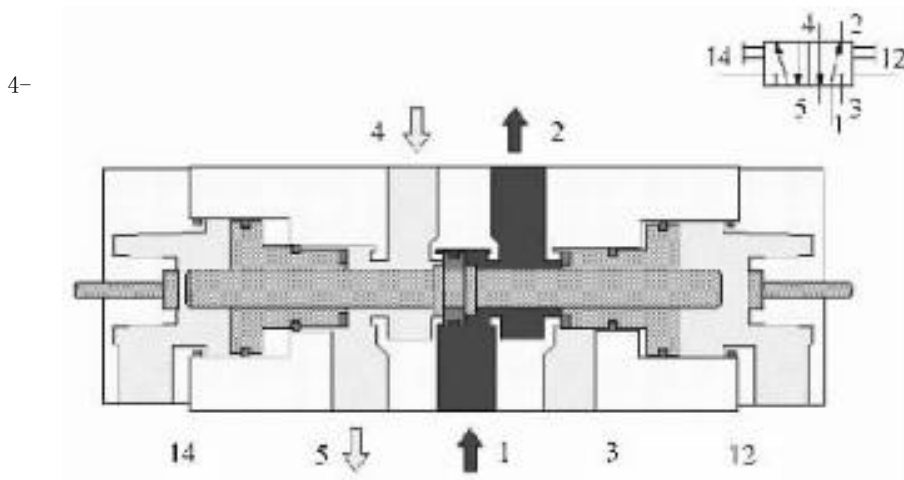
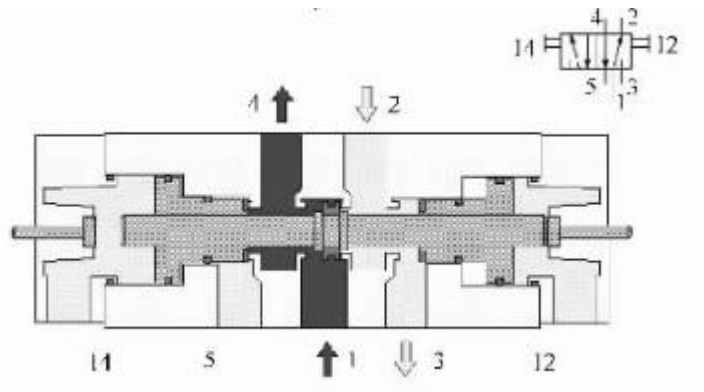


图 19 (a)

如图 4-19 (b) 所示：当另一个控制口上有气信号时，二位五通换向阀将换向。在此之前，二位五通换向阀一直保持原来工作位置不变。这种换向阀两端各有一个手控装置，以便对阀芯手动操作。

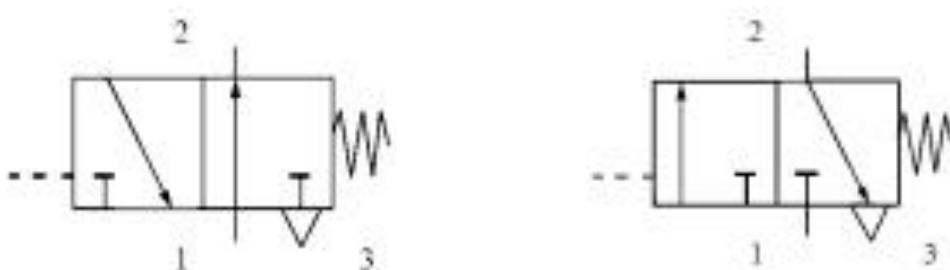


(b)

图 4-19 换向阀，圆盘式

(二) 二位三通换向阀

如图 4-20 (a)，单气控二位三通阀，常开式 (NO)，控制口 12 上有气信号时，单气控二位三通阀换向，1 口与 2 口接通。当控制口 12 上的气信号消失时，单气控二位三通阀在弹簧作用下复位，1 口关闭。



(a) (b)

图 4-20 单气控二位三通阀符号

如图 4-20 (b)，单气控二位三通阀 (NC)，常闭式控制口 12 上有气信号时，单气控二位三通阀换向，1 口关闭。当控制口 12 上的气信号消失时，单气控二位三通阀在弹簧作用下复位，1 口与 2 口接通。

1. 单气控二位三通阀，常开式

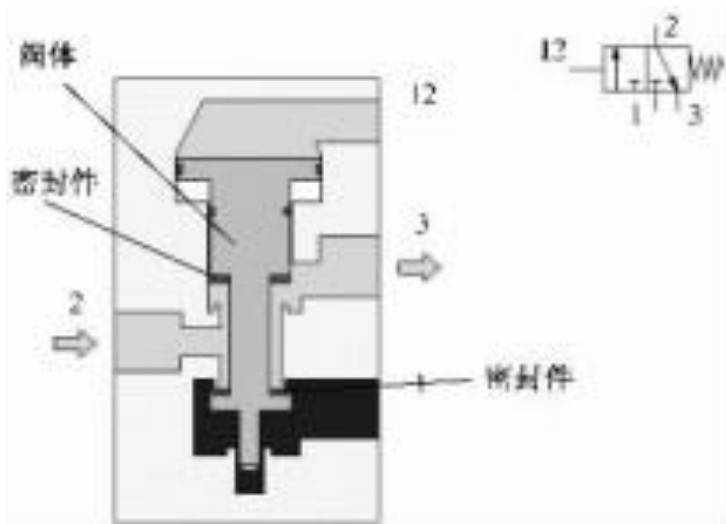


图 4-21 先导式 3/2 换向阀，NO

如图 4-21 所示，单气控二位三通阀由控制口 (12) 上的气信号直接驱动。由于在此换向阀中只有一个控制信号，因此，这种阀被称之为直动式换向阀。该换向阀靠弹簧复位。

注意：图形符号说明了控制口 12 上的气信号的直接作用。换向阀气接口应标识，以确保其正确连接。通常，根据流量选择换向阀通径大小。

当控制口 12 上有气信号时，阀芯正对复位弹簧移动，结果进气口 1 与工作口 2 相通，工作口 2 有气信号输出。控制口 12 上的气体压力必须足够大，以克服作用在阀芯上的进气压力，使阀芯移动。

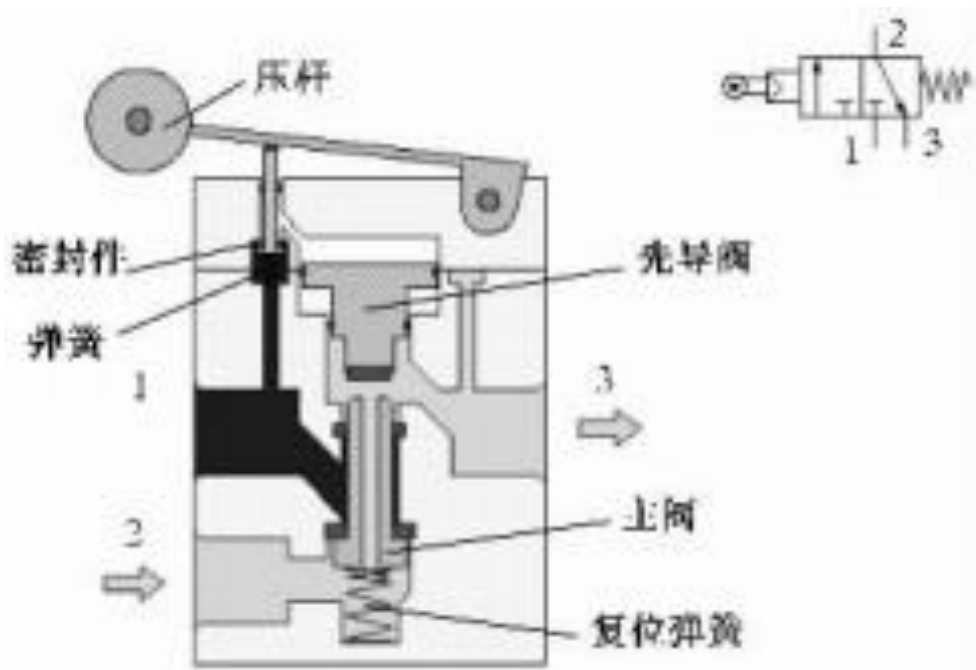


图 4-22 先导式 3/2 换向阀，NO

2. 先导式 3/2 机控换向阀（二位三通阀，常开式）

如图 4-22 所示，为避免换向阀开启时驱动力过大，可将机控式阀与气控阀组合，以构成先导式换向阀，这里机控阀为导阀，气控阀为主阀，控制气信号取自进气口。若驱动滚轮动作，导阀就打开，压缩空气就进入主阀中，使主阀口打开。图形符号中含有滚轮，以表示驱动滚轮可产生控制气信号。

3. 先导式二位三通阀，常闭式

这种换向阀可为常闭式，或为常开式。当将进气口 1 与排气口 3 交换，并将控制头旋转 180° 时，常闭式就变成常开式。由于是先导驱动方式，因此，作用在滚轮杠杆上的驱动力较小。在某些应用场合，驱动力大小通常是决定因素。

二、机控换向阀

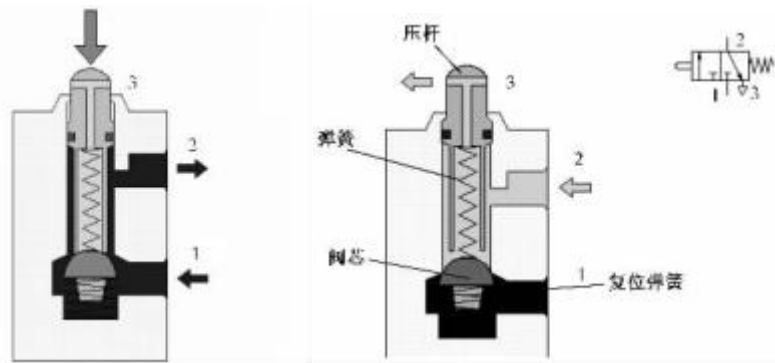
（一）3/2 机控换向阀

1. 直动式（球密封-1）

如图 4-23 (a) 所示。复位弹簧将阀芯挤压在阀座上，从而使阀口关闭，进气口 1 与工作口 2 不相通。该换向阀未驱动时，其进气口 1 关闭，工作口 2 与排气口 3 相通。

2. 直动式（球密封-2）

如图 5-23 (b) 所示。驱动推杆可将阀口打开。阀口打开时，需克服复位弹簧力和气压力（由压缩空气产生）。一旦阀口打开，进气口 1 就与工作口 2 相通，压缩空气可进入换向阀输出侧，即换向阀有气信号输出。



(a) (b)

图 4-23 先导式 3/2 换向阀，NO

驱动力大小取决于换向阀通径。

这种换向阀结构紧凑，可安装各种类型的驱动头。对于直接驱动方式来说，驱动推杆动作的驱动力限制了其应用。大流量时，阀芯有效面积也大，这就需要较大的驱动力才能将阀口打开，因此，此类型换向阀通径不宜过大。

3. 直动式（圆盘式，常开式）

如图 4-24 (a) 所示，这种换向阀采用圆盘密封结构，较小阀芯位移就可产生较大的过流面积，具有响应快的特点。

4. 直动式（圆盘式，常开式）

如图 4-24 (b) 所示，即使缓慢驱动该换向阀，也不存在压缩空气损失。在未驱动状态下，进气口 1 与工作口 2 不相通的二位三通换向阀被称之为常开式换向阀。当按下顶杆时，工作口 2 与排气口 3 相通，压缩空气经排气口（排出）。采用圆盘式密封结构的换向阀具有抗污染能力强、寿命长等特点。

5. 二位三通换向阀（圆盘式，常开式）

实物示意图如图 4-24 (c) 所示，采用圆盘密封结构的二位三通换向阀具有较大通流能力。考虑到其阀芯工作面积，此类换向阀的驱动力较大。

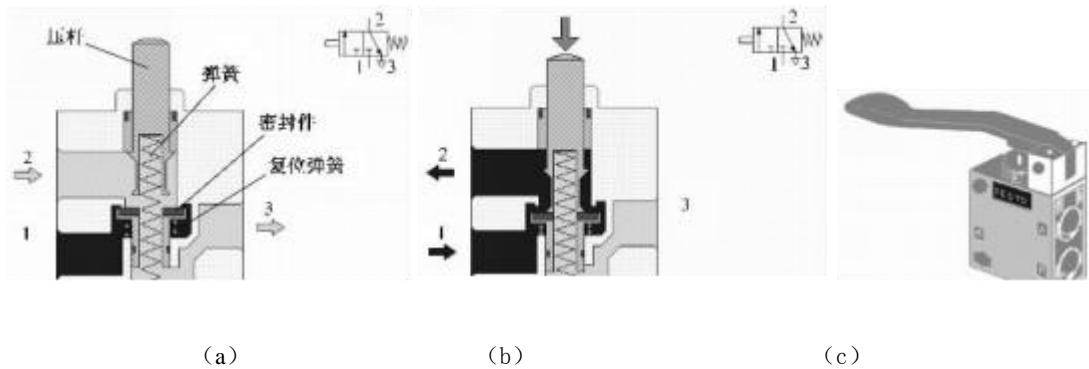


图 4-24 直动式

(a) 圆盘式, NO, 未驱动 (b) 圆盘式, NO, 已驱动 (c) 3/2 换向阀, 圆盘式, NO

6. 直动式 (圆盘式, 常闭式)

如图 4-25 (a) 所示, 在未驱动状态下, 进气口 1 与工作口 2 相通的二位三通换向阀被称之为常开式换向阀。该换向阀有多种驱动方式, 如手控、机控、气控和电控。为满足这些驱动方式要求, 控制部分的结构可灵活设计。

7. 直动式 (圆盘式, 常闭式)

如图 4-25 (b), 所示驱动推杆动作时, 阀口关闭, 从而将进气口 1 关闭, 工作口 2 与排气口 3 相通, 压缩空气经排气口 3 排出。

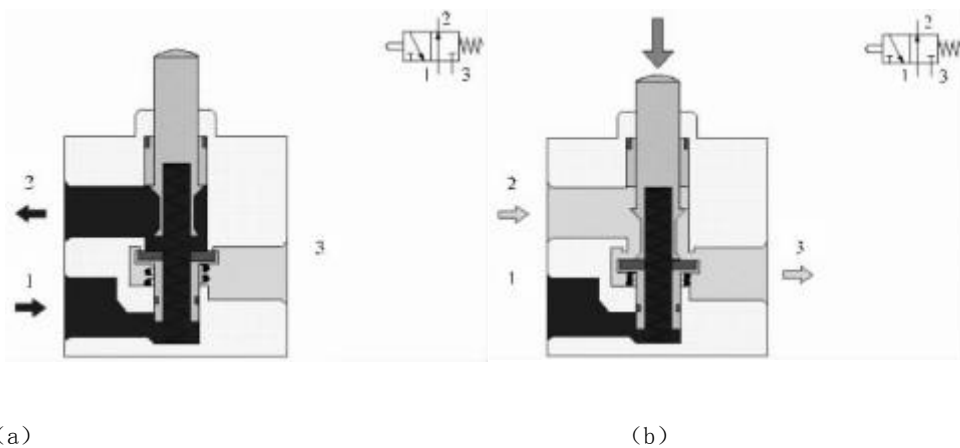


图 4-25 直动式 (a) 圆盘式, NC, 未驱动 (b) 圆盘式, NC, 已驱动

(二) 二位四通换向阀

1. 圆盘式 (未驱动)

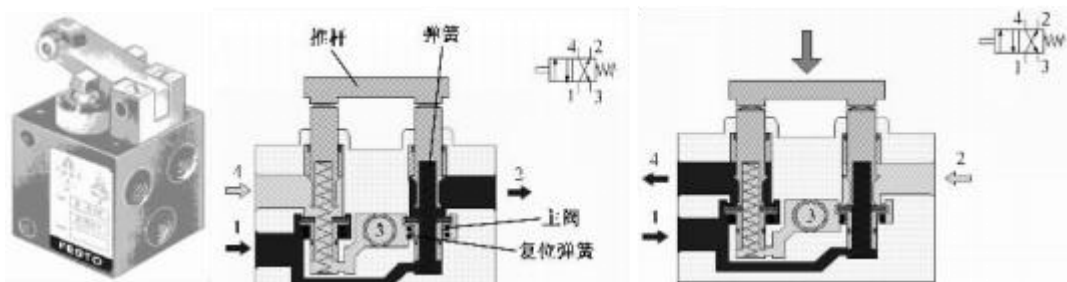
如图 4-26 (a) 所示, 二位四通换向阀具有四个气接口和两个工作位置。从功能角度讲, 二位四通换向阀可用两个二位三通换向阀 (其中一个为常闭式, 另一个为常开式) 替代。推杆可通过辅助装置 (如滚轮杠杆或按钮) 驱动。

2. 圆盘式（已驱动）

如图 4-26 (b) 所示，同时驱动两个推杆动作时，首先使进气口 1 与工作口 2 不相通，工作口（与排气口）不相通。当进一步推动推杆，以克服复位弹簧力时，进气 1 与工作口 4 就相通，工作口 2 与排气口 3 相通。讨论这种换向阀的信号障碍。

3. 圆盘式（实物示意图）

如图 4-26 (c) 所示，这种换向阀结构坚固，两个推杆直接驱动阀芯动作。对于大流量换向阀，移动推杆的驱动力也较大。



(a)

(b)

(c)

(a) 未驱动，圆盘式

(b) 已驱动，圆盘式

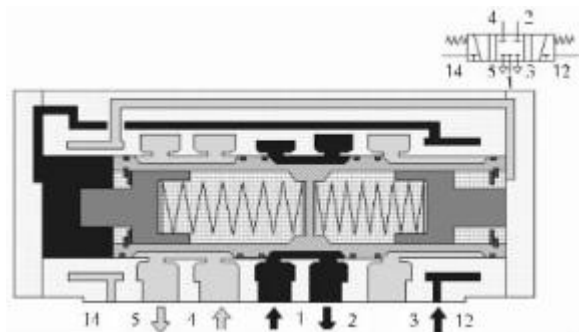
(c) 4/2 换向阀，圆盘式

图 4-26 直动式

(三) 三位五通换向阀

三位五通换向阀具有五个气接口和三个工作位置，气信号从控制口 14 或控制口 12 输入，以驱动三位五通换向阀换向。图示为中封式、弹簧对中的三位五通换向阀。以下说明三位五通换向阀的三个工作位置。

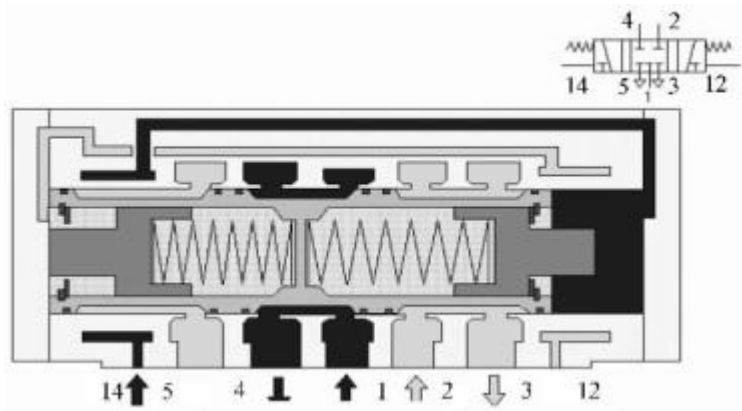
如图 4-27 (a) 所示，在控制口 12 上有气信号后，三位五通换向阀的工作状态如图所示。压缩空气从进气口 1 流向工作口 2，工作口 4 通过排气口 5 与大气相通。



(a)

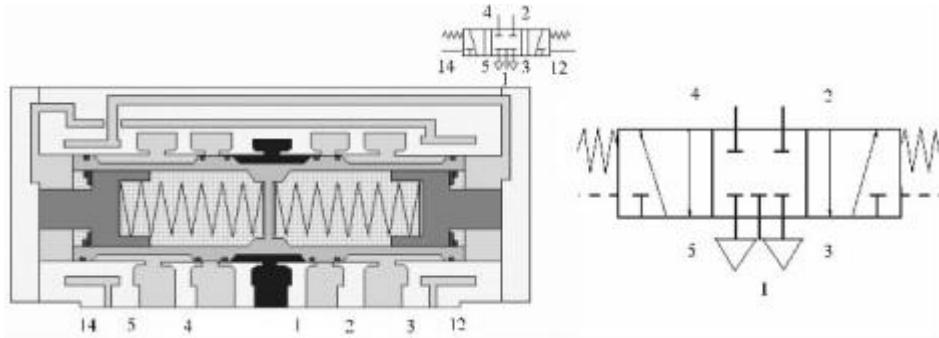
如图 4-27 (b) 所示，在控制口 14 上有气信号后，三位五通换向阀的工作状态如图所

示。压缩空气从进气口 1 流向工作口 4，工作口 2 通过排气口 3 与大气相通。



(b)

图 4-27 (c) 为双气控三位五通阀，中封式，弹簧复位的符号图。



(c)

图 4-27 三位五通换向阀

(a) 5/3 换向阀 (b) 5/3 换向阀 (c) 5/3 换向阀, 0,

当控制口 14 或 12 上有气信号时，双气控三位五通阀换向，1 口与 4 口或 1 口与 2 口接通。当控制口 12 或 14 上的气信号消失时，双气控三位五通阀在弹簧作用下复位，此时，1 口、2 口和 4 口被关闭。

当控制口 14 或 12 上有气信号时，双气控三位五通阀换向，1 口与 4 口或 1 口与 2 口接通。当控制口 12 或 14 上的气信号消失时，双气控三位五通阀在弹簧作用下复位，此时，1 口、2 口和 4 口被关闭。

三、电控换向阀

如图 4-28 所示，当电磁线圈得电时，由电磁学原理可知：电磁力使阀芯向上移动，打开 P 到 A 的通道；断电后弹簧复位。

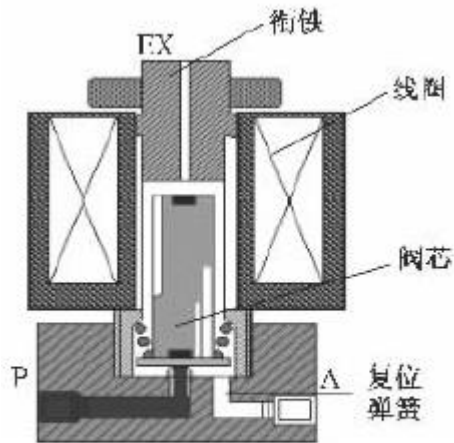


图 5-30 电控换向阀示意图

图 4-28 电控换向阀示意图

（一）直动式电磁阀

由电磁铁的衔铁直接推动换向阀的阀芯；可分为单控电磁铁换向阀和双控电磁铁换向阀。

1. 单控电磁铁换向阀

如图 4-29 (a) 所示，单控电磁铁换向阀阀芯的移动靠电磁铁，而复位靠弹簧，因而换向冲击较大，一般制成小型阀。

2. 双控电磁铁换向阀

如图 4-29 (b) 所示，将单控电磁铁换向阀阀芯复位弹簧改成电磁铁就成为双控电磁铁

直动式换向阀，该阀的两个电磁铁只能交替工作，不能同时得电，否则会产生误动作或烧坏线圈。这种阀具有“工位的记忆”和“控制信号（线圈得电的时间长度）的脉冲”功能。

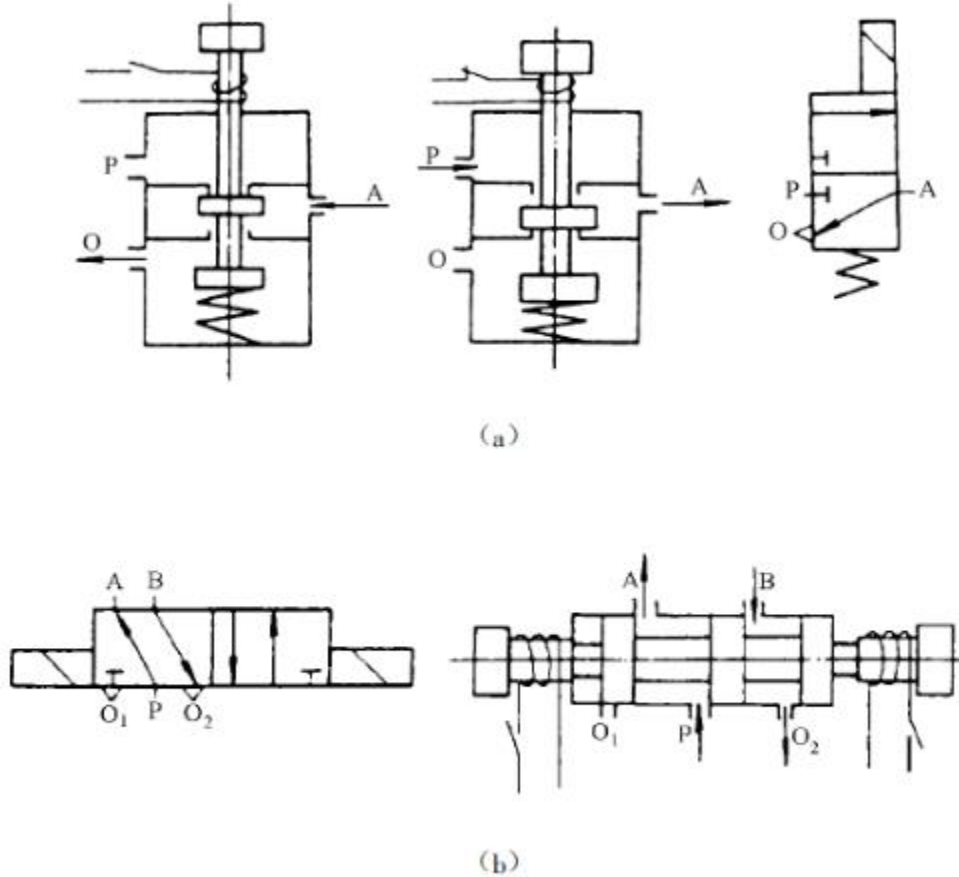
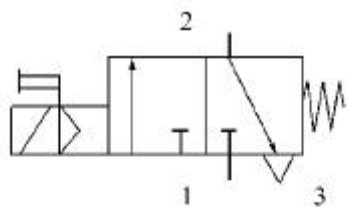
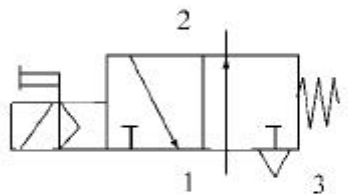


图 5-31 单控电磁阀原理示意图

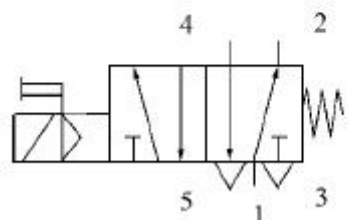
图 4-29 单控电磁阀原理示意图



单电控二位三通阀，常开式



单电控二位三通阀，常闭式



单电控二位五通阀，弹簧复位

3. 几种“直动式电磁阀”的图形符号和简单说明

(1) 单电控二位三通阀，常开式，弹簧复位

当电磁线圈得电时，单电控二位三通阀的 1 口与 2 口接通。电磁线圈失电，单电控二位三通阀在弹簧作用下复位，则 1 口关闭。如果没有电压作用在电磁线圈上，

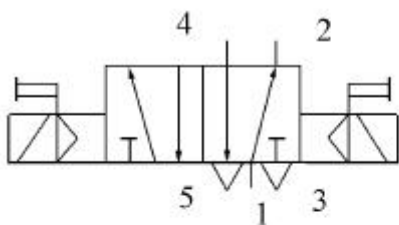
则单电控二位三通阀可以手动驱动。

(2) 单电控二位三通阀，常闭式，弹簧复位

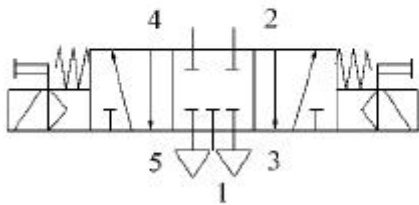
电磁线圈得电，单电控二位三通阀的 1 口关闭。电磁线圈失电，单电控二位三通阀在弹簧作用下复位，则 1 口与 2 口接通。如果没有电压作用在电磁线圈上，则单电控二位三通阀可以手动驱动。

(3) 单电控二位五通阀，弹簧复位

电磁线圈得电，单电控二位五通阀的 1 口与 4 口接通。电磁线圈失电，单电控二位五通阀在弹簧作用下复位，则 1 口与 2 口关闭。如果没有电压作用在电磁线圈上，则单电控二位五通阀可以手动驱动。



双电控二位五通阀



双电控三位五通阀，中封式

中封式动。

(二) 先导阀

先导阀属于间接操作式的控制阀，它可以减小操作力和阀外形尺寸。如图 4-30 (a)。

(a) 先导阀示意图

(4) 双电控二位五通阀

电磁线圈得电，双电控二位五通阀的 1 口与 4 口接通，且具有记忆功能，只有当另一个电磁线圈得电，双电控二位五通阀才复位，即 1 口与 2 口接通。如果没有电压作用在电磁线圈上，则双电控二位五通阀可以手动驱动。

(5) 双电控三位五通阀，中封式

电磁线圈得电，双电控三位五通阀的 1 口与 4 口接通或 1 口与 2 口接通。电磁线圈失电，双电控三位五通阀在弹簧作用下复位，此时，1 口、2 口和 4 口皆被关闭。如果没有电压作用在电磁线圈上，则双电控三位五通阀可以手动驱动。

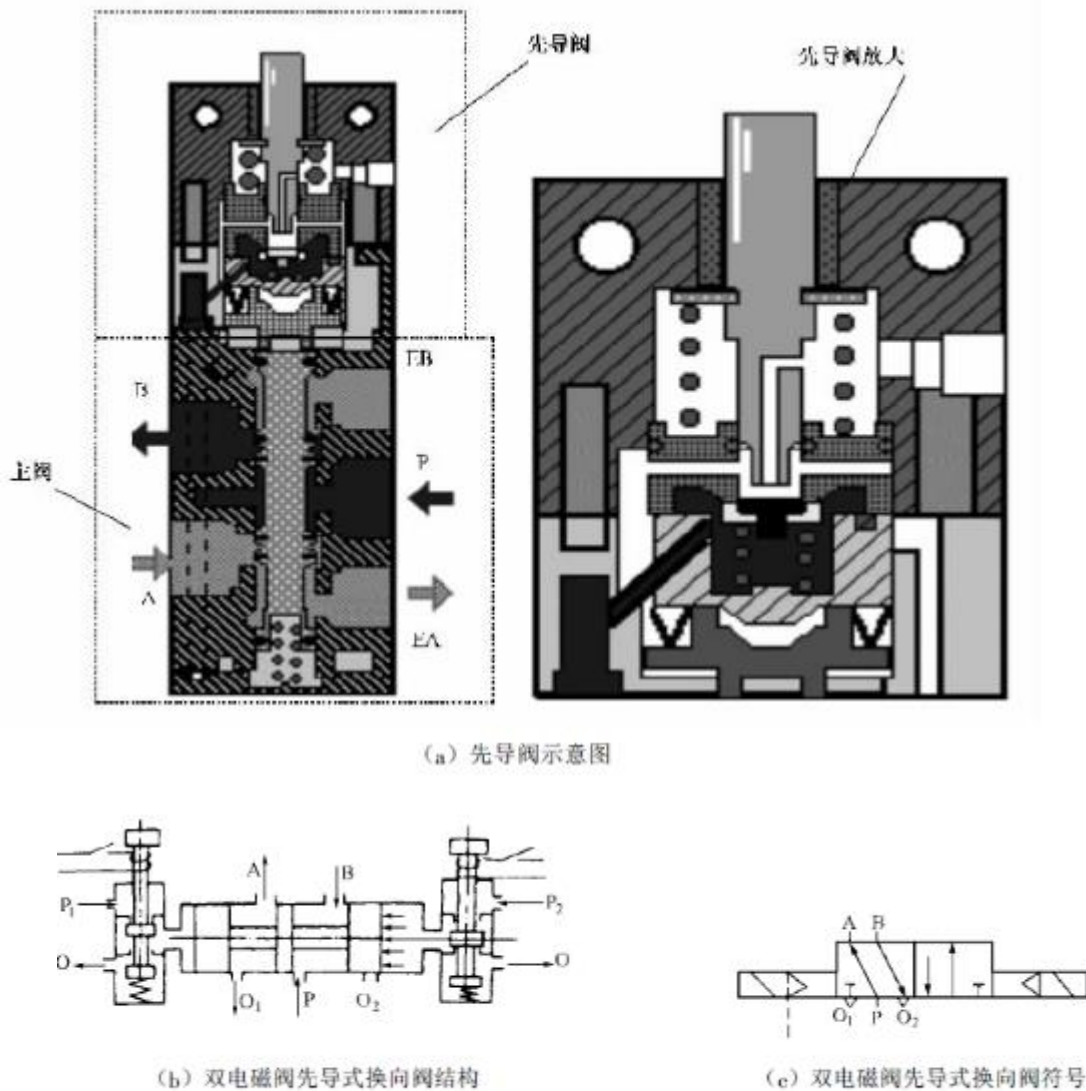


图 5-32 先导阀

首先，由电磁铁控制从主阀气源节流出来的一部分气体，产生先导压力，然后去推动主阀阀芯，所以称之为先导式电磁阀。

先导式电磁阀由先导阀和主阀两部分组成。电磁控制部分，实际上是一个电磁阀，称之为电磁先导阀，由它控制的用以改变气流方向的阀称之为主阀。图 4-30 (b) 为双电磁阀先导式换向阀的结构示意图；图 4-30 (c) 为双电磁阀先导式换向阀的符号；请自行分析其工作原理。

四、单向型控制阀

单向型控制阀包括单向阀、梭阀、双压阀、快速排气阀、截止阀等。

(一) 单向阀

如图 4-31 所示，单向阀仅允许压缩空气在一个方向流动，且压降较小。这种单向阻流作用可由锥密封、球密封、圆盘密封或膜片来实现。

单向阀的阀心有锥形、平面和球形三种。锥形和球形阀心的单向阀，空气流阻小但制造比平面阀心困难。

为了减小流阻，大流量单向阀常不用弹簧，使用时应垂直安装，阀座在下面，以缩短阀的关闭时间，并提高其密封性。

(二) 快速排气阀（参见第二节）

如图 4-32 所示，压缩空气从 1 口流向 2 口。如果进气压力（1 口压力）降低，则 2 口压缩空气通过消声器排入大气。

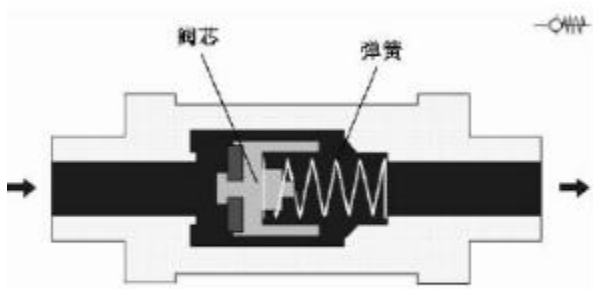


图 5-33 单向阀

图 4-31 单向阀

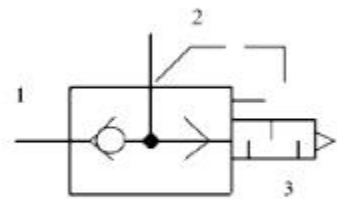


图 5-34 快速排气阀

图 4-32 快速排气阀

具有消声器的快排阀，能消除排气噪声。快速排气阀可使气缸活塞运动速度加快，特别是在单作用气缸情况下，可以避免其回程时间过长。为了减小流阻，快速排气阀应靠近气缸安装，压缩空气通过大排气口排出。

沿气接口 1 至气接口 2 方向，由于单向阀开启，压缩空气可自由通过，排气口 3 被圆盘式阀芯关闭。若气接口 2 为进气口，圆盘式阀芯就关闭气接口 1，压缩空气从大排气口 3 排出。一般情况下，快速排气阀直接安装在气缸上，或应靠近气缸安装。

为了减小流阻，压缩空气从大排气口排出，从而提高了气缸活塞的运动速度。为了降低排气噪声，这种阀一般带消音器。

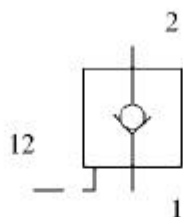


图 5-35 气控单向阀原理

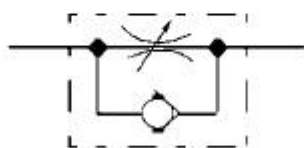


图 5-36 可调单向节流阀

图 4-33 气控单向阀原理

图 4-34 可调单向节流阀

（三）气控单向阀

如图 4-33 当 1 口进气压力比 2 口的工作压力高，则 1 口与 2 口接通，否则，1 口与 2 口关闭。此外，通过控制口 12 也可以将气控单向阀打开，即 1 口与 2 口接通，这时允许压缩空气双向自由流动。

（四）可调单向节流阀

可调单向节流阀由单向阀和可调节流阀组成，如图 4-34 所示。单向阀在一个方向上可以阻止压缩空气流动，此时，压缩空气经可调节流阀流出，调节螺钉可以调节节流面积。在相反方向上，压缩空气经单向阀流出。



五、方向控制阀的选择和使用

首先根据基本功能选择类型，然后确定具体型号，在选型号时要考虑安装方式，尺寸大小等。需要注意的是阀的外形尺寸不代表其流量及容许压降，具体可查阅有关手册。

(1) 根据所需流量选择阀的通路。对于直接控制气动执行机构的主控阀；要根据工作压力状态下的最大流量来选择阀的通路。一般情况下所选阀的额定流量应大于实际的最大流量。对于信号阀（手控、机控），则根据它所控制阀的远近，控制阀的数量和动作时间等因素来选择阀的通路。

(2) 考虑阀的机能是否保证工作需要，要尽量选择与所选机能一致的阀。

(3) 安装方式的选择，要从安装维护方面考虑，板式连接较好，特别对集中控制的系统优点更为突出。

(4) 优先采用标准化系列产品，尽量避免采用专用阀。

[思考与练习题]

1. 在气动系统中，控制元件主要可分为哪几类？
2. 在气动系统中，用来控制与调节压缩空气的压力，可以由几种方式来实现？
3. 简述减压阀（压力阀）、压力顺序阀和溢流阀的异同点。
4. 在气动系统中，用来控制与调节压缩空气的流量，可以由几种方式来实现？
5. 在实际的工业气动系统中，为什么节流阀往往直接接在气缸上？对于进气节流和排气节流这两种方式，在水平运动系统和垂直升降系统中，如何进行选择，为什么？
6. 在实际气动系统中，如果要调节气缸（水平运动，初始为气缸缩回状态）伸出和缩回的速度，该如何调整？
7. 在气动系统中，用来控制与调节压缩空气的气流方向，可以由几种方式来实现？
8. 如何来检测气动系统中的压力？
9. 如何来设定压力顺序阀的压力（如 0.5MPa）？
10. 如何来设定延时阀的时间（如 5s）？
11. 双控电磁阀具有什么特性？如何设定某个相对位置（如：工位初始位置要求在电磁阀的左边）？

[本章小结]

在气动系统中，提供给最终的执行机构（气缸、气马达等）的能量——压缩空气，



一般要经过调压和流量控制；同时，气缸要切换运动方向，则必然要对压缩空气进行方向控制。本章主要介绍了气压传动系统中的压力、流量和方向控制元件。重点是要学员了解气动控制元件的工作方式、特点及其应用场合。同时，本章也给出了基本的气动逻辑控制元件（与阀、或阀、延时阀等）。在实验中，仔细体会控制元件的作用，以及控制元件的实际接线和调整，掌握控制元件的使用场合。



第五章 气动图形规范

[教学目标]

- (1) 了解气动系统元件的符号及其含义
- (2) 了解气动系统控制流程和气动回路的绘制

[教学大纲]

本章重点是要学员了解气动元件的图形符号，气动系统的信号流程，在实验中，仔细体会元件的作用、实际接线、调整，以及回路的信号流，掌握简单回路的画法。

气动系统设计时的绘图主要有气动位移步骤图、流程图等，它是工程交流的语言，在气动设备交货时更是必不可少的随机文件，也是用户日后维护、修理、培训的依据，因此必须掌握气动元件的符号及绘图的一般规范。

1. 元件的表示法

气动系统设计时要用统一的方法来表示元件，各种元件所采用的符号应能表示如下特征：

- 元件功能
- 动作与复位的方法
- 接口数目（每种标记表示同一接口）
- 开关位置数目
- 一般操作规程
- 流通路径的简化表示法

2. 元件符号未体现下列特征

- 元件的尺寸或口径大小
- 具体厂商、组件结构方式或成本
- 接口的方向性
- 元件的详细物理特性
- 接口以外的任何部分

供气系统的符号可以用分立元件或者组合元件来表示。选用简单的符号，还是详细的符号，这取决于回路图的使用目的及其复杂性。通常，对于技术细节有特殊要求的地方，例如要求无润滑压缩空气，或微型过滤器，则应选用十分详细的符号，如果所有组件都利



用一个规定的公共供气系统，则可在回路图中选用简化了的符号。对于故障检测，最好用详细的元件符号来表示。

第一节 元件的符号表示

一、气源的有关符号

气源及其净化和调节元件的相关符号如图 5-1 所示。

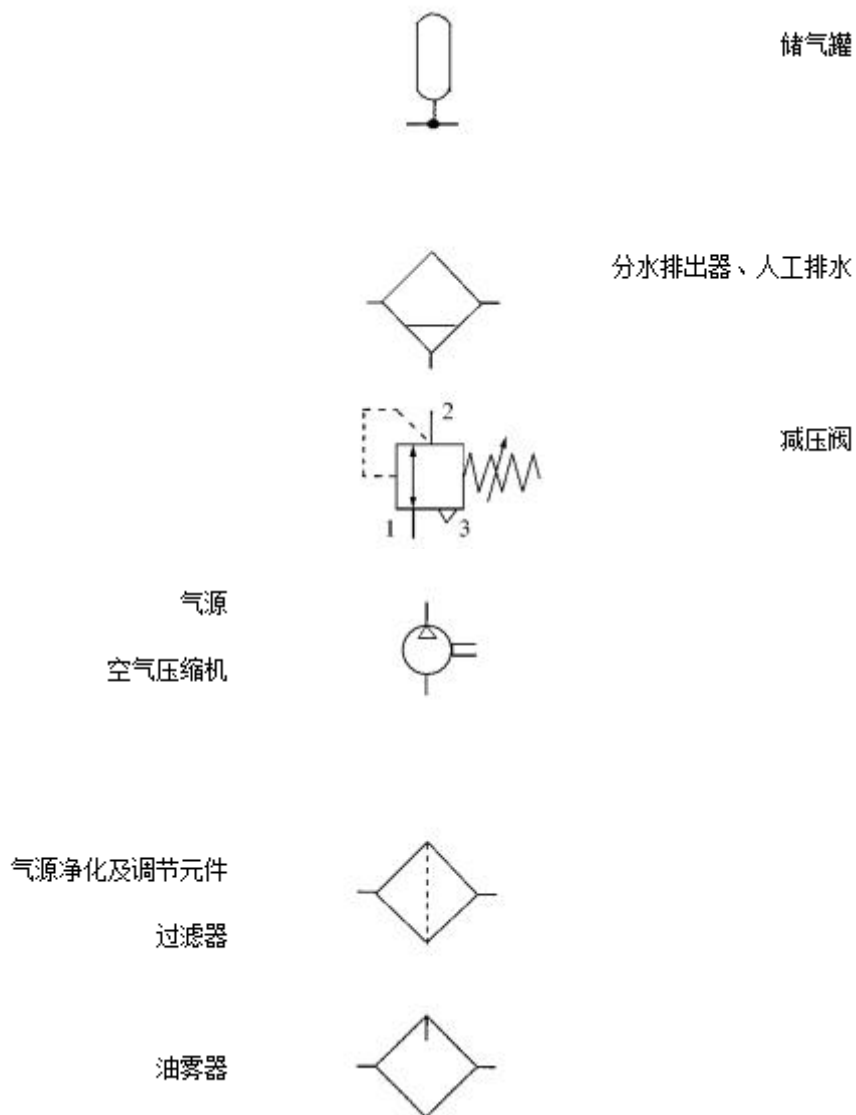
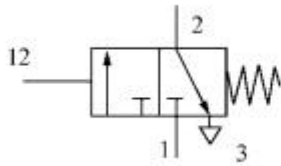
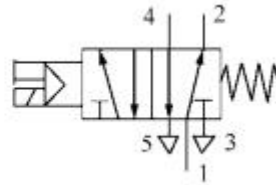


图5-1 气源的有关符号

二、阀门的符号



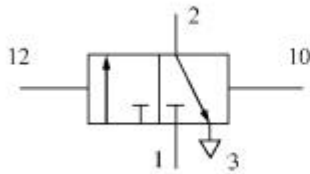
3/2 NO 单气控换向阀



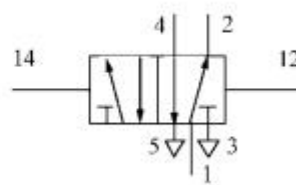
3/2 NO 单气控换向阀

3/2 NO 单气控换向阀

通常，气动技术和液压技术所采用的元件符号是相同的，只是每种控制介质有自己的特征；如图 5-2 所示，介绍部分元件及符号。



3/2 双控换向阀

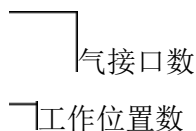


5/2 双控换向阀

图5-2 阀门的符号

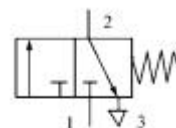
三、方向阀接口及其位置

方向控制阀可以用其控制的接口数目和位置数目来表示。每一个位置对应一个单独的方块；如图 5-3 所示。关键是在说明实际系统的回路符号和阀门时，每个接口要有专门的名词。为了保证线路连接的正确性，阀门与实际位置对应，必须明确控制回路和所用元件的关系。因此，要规定回路图中采用的符号，所用元件必须用正确的符号和名称加以标注。各种方向控制阀用数字符号加以区分。以前，曾用字母符号来表示不同的方向控制阀（参见表 5-1）。这两种符号系统表示如下：



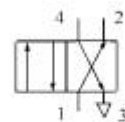
二位三通换向阀，常闭式

二位三通换向阀



二位四通换向阀

二位三通换向阀，常开式



二位五通换向阀，中封式

二位五通换向阀

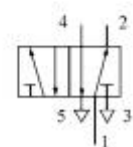
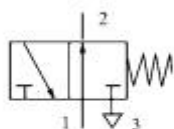
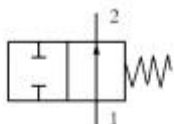
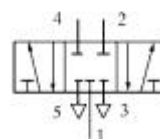


图 5-3 方向阀接口及其位置

表5-1

方向阀接口符号

接口	IN ISO 5599	字母符号系统
压缩空气输入口	1	P
一个排气口	3	2 (3/2 阀)
多个排气口	5.3	R, S (3/2 阀)
信号输出口	2.4	B, A
使1至2导通的控制管路接口	12	Z (单端气控3/2 阀)
使2至3导通的控制管路接口	10	Y (双端气控3/2 阀)
使1至2导通的控制管路接口	12	Y (5/2 阀)

使1至4导通的控制管路接口	14	Z (5/2 阀)
使阀门关闭的控制管路接口	10	Z, Y
辅助控制管路	81`91	Pz

四、阀门控制方式

气动方向控制阀的控制方式可以根据任务的要求来决定，控制方式分为：机械式，气动式，电气式和组合操作方式。

当使用一个方向控制阀时，对阀门采用什么控制方式必须加以考虑，同时也应考虑复位动作的方式。通常，这是两种不同的方式。它们画在阀门符号的两侧。有的阀门可能有附加操作方法，如下表 5-2 所示。

人工控制	符 号	机械控制	符 号	气压控制	符 号	电气控制	符 号	组合控制	符 号
一般手动操作		弹簧复位		直动式		单电控		先导式双电控,带手动	
按钮式		弹簧对中		先导式		双电控			
手柄式,带定位		滚轮式							
踏板式		单向滚轮式							

表5-2

阀门控制方式示意图

第二节 控制流程图的绘制

有时设计气动回路要根据气动控制的流程图。如图 5-4 所示。

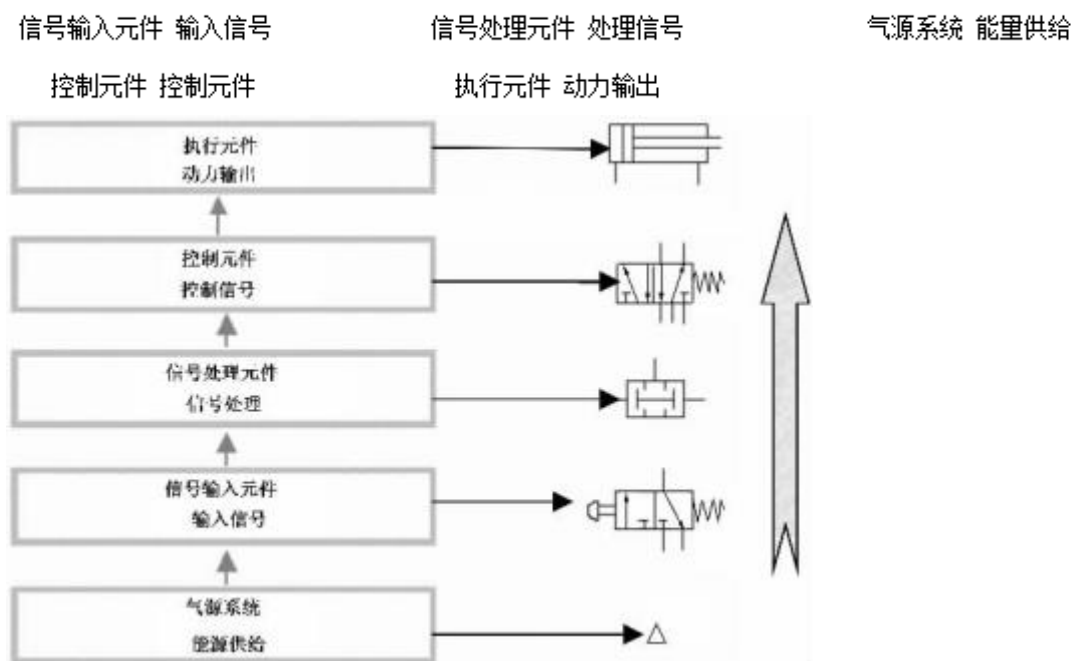


图5-4 气动系统结构和信号

从图中可见，控制信号本身也是一种能量的流动，它与人体神经元信号的传递或电流信号的传递本质上是极相似的。当然简单的气动系统可以不画流程图，而直接绘制气动回路图。复杂的气动系统在绘制流程图时尚需具体化。

第三节 气动回路的绘制

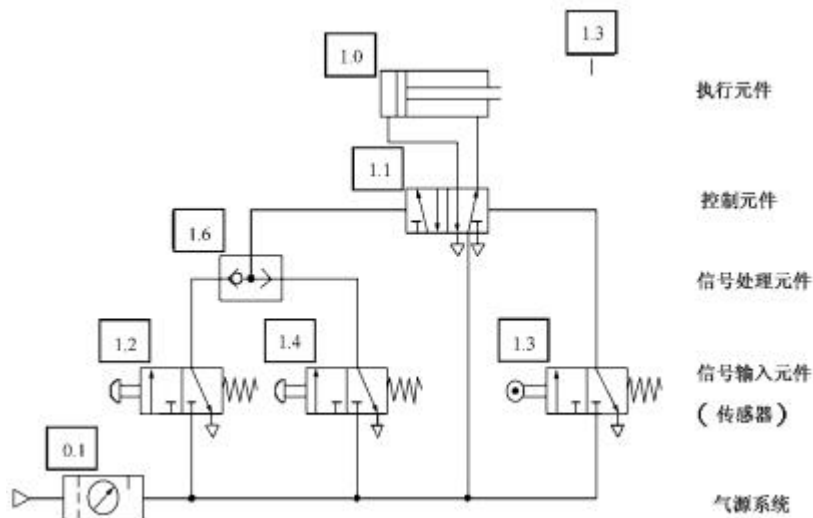
气动系统应当根据控制流程图来画回路图。回路图中的信号流向是从下向上。一个控制系统中，能量供给是重要的，应当包括在回路图中。供气系统所需的元件应当画在回路图的下面，可以采用简化符号或者画出全部元件的符号。在大的回路图中，供气系统部分（调理组，梭阀，各种供气管道连接等等）可以另外单独画。

回路图在布局时，不必考虑系统每个元件的实际位置。建议将图中所有气缸和方向控制阀水平布置，且气缸运动的方向均为从左往右。这样，回路图更容易阅读理解。

一、气动回路图的布局

问题：按下手动按钮或者脚踏板，双作用气缸的活塞杆就伸出。气缸完全伸出以后，如果这时手动按钮或脚踏板已经释放，则气缸返回它的初始位置，如图 5-5 所示。图中 1.3 阀门装在气缸完全伸出时所能碰到的位置。这个元件在回路图中画在信号输入层，不直接反映阀门所处的位置。而在图中气缸伸出时所能碰到的位置处有一个标记，这才是阀门 1.3 在工作线路中的实际位置。

当控制回路很复杂，包含许多工作元件时，可将控制系统分成几个控制部分。每个部分可根据其功能划分。



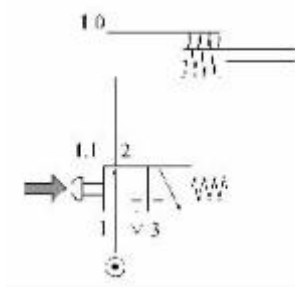
图中元件清单

序号	元件符号	元 件 名 称
1	0.1	气动三联件（过滤器、调压器、油雾器）
2	1.0	双作用气缸
3	1.1	5/2 双气控换向阀
4	1, 2	手动按钮
5	1.3	3/2 机控换向阀（单控）
6	1.4	脚踏板
7	1.6	梭阀（或门阀）

图 5-5 气动回路和元件

各个部分应该尽可能地按照操作运行的顺序依次画出来。

二、回路中各元件的表示法



回路图中所画的每个元件应处于初始位置,如图 5-6 中二位三通换向阀的初始位置是处于被开通的状态。这应当表示出来(例如,用一个箭头,或者对限位开关来说画一个带阴影线的凸起部分,如图 5-6 直接控制

图 5-6 直接控制

所示)。处于开通状态的阀门左边位置的管道接通了气源。由于滚轮被按下,初始状态时 2

(A) 处有信号。表 5-3 是回路图中每个元件的编号与工作元件的

对应关系和规定。

表5-3 回路图中每个元件的编号与工作元件的对应关系和规定

0	供气系统
1, 2, 3等	各个工段或控制部分的编号
1.0, 2.0等	工作元件
1	控制元件
01, 03 (奇数) 等	介于控制元件和工作元件间的元件, 前向冲程有作用
02, 04 (偶数) 等	介于控制元件和工作元件间的元件, 回程有作用
2, 4 (偶数) 等	对气缸前向冲程有作用的元件

3, 5 (奇数) 等	对气缸回程有作用的元件
-------------	-------------

三、绘制回路图的要点

- 信号流向是从回路图的下方向上
- 气源可以用简化形式画出
- 图中不考虑实际元件的排列
- 尽可能将气缸和方向控制阀门水平绘制，气缸运动方向是从左往右
- 安装时使用的所有元件要与回路图中元件的名称标记一致
- 用标记表示输入信号的位置（如限位阀）。如果信号的产生是单方向的，就在标记上加一个箭头
- 图中每个元件处于控制的初始位置。已经被启动而动作的元件用带阴影线的凸起部分或者箭头加以区分
- 在画管道线时尽可能用直线，不要交叉，连结处用一个点表示

[思考与练习题]

1. 在下面的气动回路中（图 5-7），画出每个元件的数字符号。

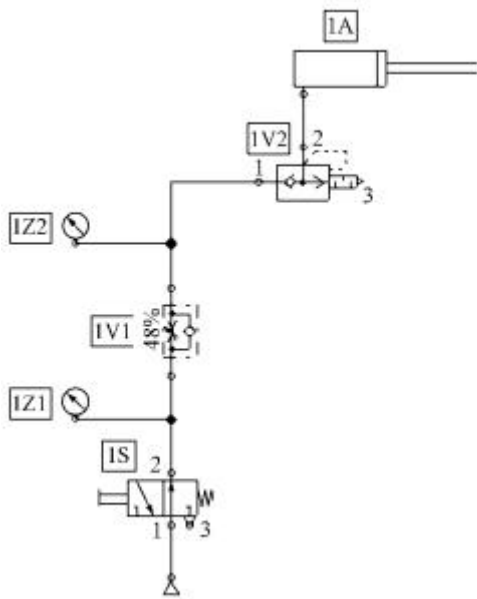


图 5-7 习题图例

[本章小结]

在气动系统中，气动图是工程交流的语言，在气动设备交货时更是必不可少的随机文件，也是用户日后维护、修理、培训的依据。本章重点是要学员了解气动元件的图形符号，气动系统的信号流程和气动回路的位移-步骤图；以及利用位移-步骤图来查找故障。在实



验中，仔细体会元件的作用、实际接线、调整，以及回路的信号流，掌握简单回路的画法。

第六章 气动基本回路

[教学目标]

- (1) 了解气动系统中的基本回路和常用回路
- (2) 了解回路的功能，熟悉回路的构成和性能
- (3) 掌握基本回路的应用

[教学大纲]

本章主要介绍了以下基本回路：压力控制回路，方向控制回路，速度控制回路，安全启动，安全保护回路等，通过这些回路的认知，便于气动控制的系统分析，设计以及组成完善的气动控制。

和液压传动系统一样，气压传动系统也是由各种功能的基本回路组成的。因此，熟悉掌握常用的基本回路是分析气压传动系统的基础。各种功能的气动基本回路很多，本节只介绍几种最常用的基本回路。

第一节 压力控制回路

压力控制回路的作用是控制调节系统的压力。常用的有下述几种回路。

一、一次压力控制回路

用于控制空压站气罐，使其压力不超过规定压力；如图 6-1 所示。通常采用外控式溢流阀 1 来控制，也可用带电触点的压力表来代替溢流阀 1 来控制空压机电机的启、停。此回路结构简单，工作可靠。

二、二次压力控制回路

二次压力控制回路是指每台气动设备的气源进口处的压力调节回路。如图 6-2 所示，主要采用溢流式减压阀来调整压力。通常把分水滤气器、减压阀和油雾器称为气动三大件（可做成联件形式）。如气动系统中不需要润滑，则可不用油雾器。

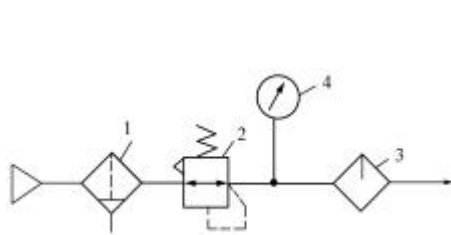


图 6-1 一次压力控制回路

1—溢流阀 2—压力表

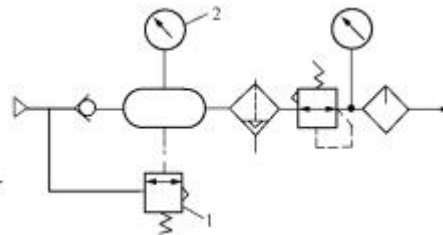


图6-2 二次压力控制回路

1—分水滤气器 2—调压阀 3—油雾器 4—压力表

三、高低压转换回路

图 6-3 所示是采用两个减压阀，分别调出 P1、P2 两个不同压力的回路。由换向阀控制输出气动设备所需要的压力。图中的换向阀为气控阀，根据系统的情况，也可选用其它控制方式的阀。

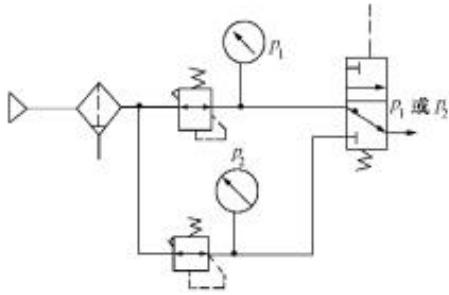


图 6-3 高、低压转换回路

第二节 方向控制回路

方向控制回路，是用换向阀控制压缩空气的流动方向，来实现控制执行机构运动方向的回路，简称换向回路。

一、单作用气缸换向回路

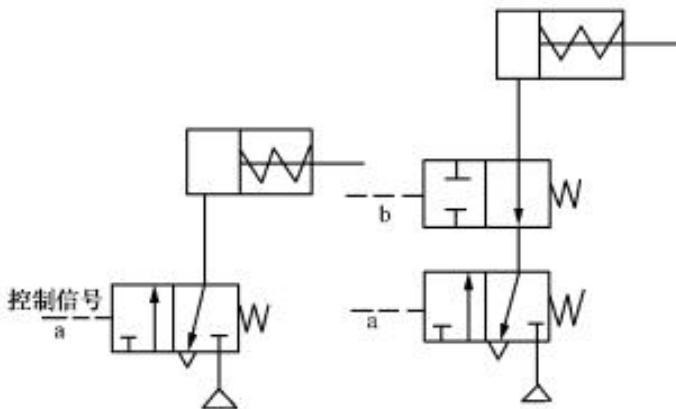


图 6-4 (a) (b)

图 6-4 二位三通阀控制单作用气缸的换向回路

只用一个二位三通阀，当有控制信号时，活塞杆伸出，无控制信号时，活塞杆在弹簧力作用下退回。在图 6-4 (b) 中，串联一个二位三通阀，可以使气缸在行程途中任意位置停止。即有信号 b 则活塞停止运动，消除信号 b，则活塞继续运动。但因气体的可压缩性，其停止位置精度较低。

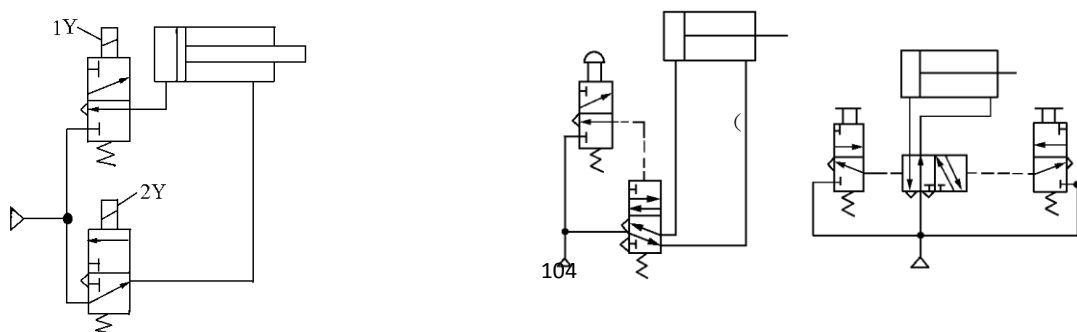


图 6-5 阀的换向回路图

a) (b)
图 6-6 阀的换向回路

二、双作用气缸换向回路

图 6-5：当电磁铁 1Y、2Y 均不通电时，活塞杆后退。电磁铁 1Y 通电，电磁铁 2Y 不通电，则形成差动回路，使活塞杆快速外伸。电磁铁 1Y、2Y 同时通电时，活塞杆慢速外伸。

图 6-6 (a)：当手动阀换向时，由手动阀控制的控制气流推动二位五通气控换向阀换向，气缸活塞杆外伸。松开手动换向阀，则活塞杆返回。

图 6-6 (b)：主阀由两个小流量二位三通手动阀控制；请读者自己分析其动作过程。

上述三个换向回路，不适用于活塞在行程途中有停止运动的场合。为适应活塞中途停止要求，可采用三位五通阀控制的换向回路。

图 6-7 (a) 为采用中位封闭式三位五通阀 (O 型) 的换向回路，它适用于活塞在行程中途停止的情况。但因气体的可压缩性，活塞停止的位置精度较差，且回路及阀内不允许有泄漏。

图 6-7 (B) 为采用中位泄压式三位五通阀 (Y 型) 的换向回路。此回路在活塞停止时，可用外力自由推动活塞移动 (如可加手动装置)。其缺点为活塞惯性对停止位置的影响较大，不易控制。一般不能用于升降系统。

图 6-7 (C) 为采用中位加压式三位五通阀 (P 型) 控制双活塞杆气缸的换向回路。此回路适用于活塞面积小而要求活塞在行程中途很快停止的情况。其缺点为如果气缸是单活塞杆，则由于，差压，的作用，当系统一通气源，而没有控制信号时，气缸会缓慢伸出。同样，一般不能用于升降系统。

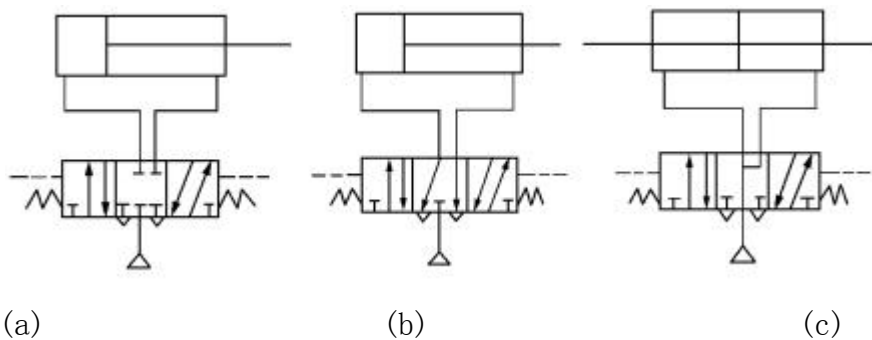


图 6-7 三位五通阀换向回路



第三节 速度控制回路

由于气压传动的速度控制所传递的功率不大，一般采用节流调速，但因气体的可压缩性和膨胀性远比液体大，故气压传动中气缸的节流调速在速度平稳性上的控制远比液压传动中的困难，速度负载特性差，动态响应慢。特别是在较大变负载同时又有比较高的速度控制要求的情况下，单纯的气压传动难以满足要求，此时可采用气液联动的方法。

对于进口和出口节流调速的特点，气压传动和液压传动基本相同，这里不再赘述。

一、单作用气缸速度控制回路

图 6-8 为单作用气缸速度控制回路。图 6-8 (a) 可以进行双向速度调节，图 6-8 (b) 采用快速排气阀可实现快速返回，但是返回速度不能调节。

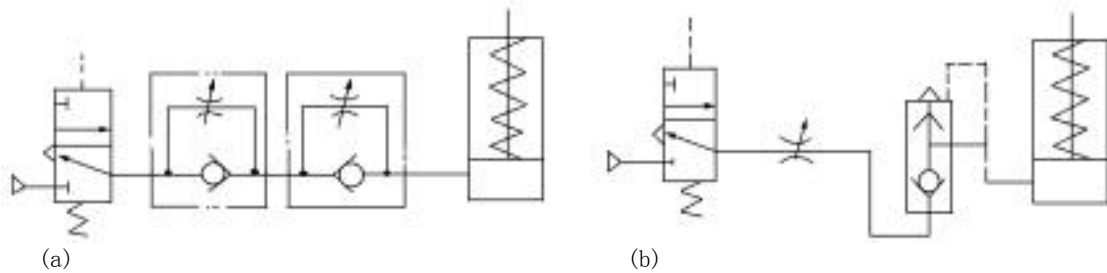
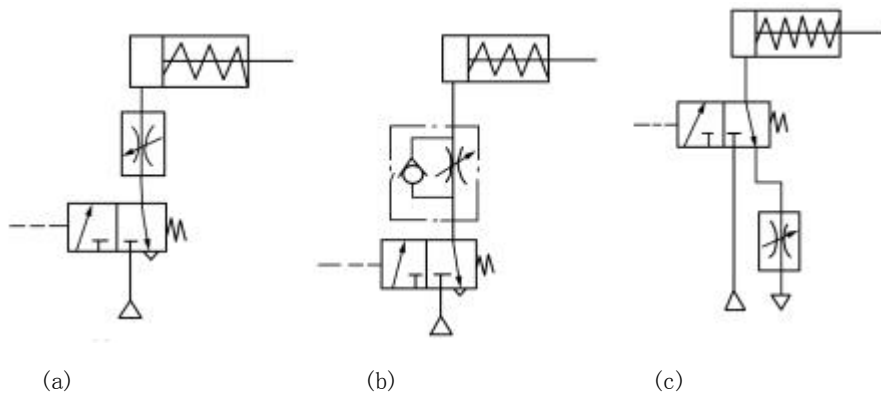


图 6-8 单作用气缸速度控制回路

图 6-9 所示为单作用气缸的其它速度控制回路，图 6-9 (a)、(b) 所示为对活塞杆的伸出进行速度控制，图 6-9 (c)、(.) 所示为对活塞杆的退回进行速度控制，图 6-9 (e) 所示利用两个单向节流阀控制气缸伸出和退回的速度。图 6-9 (f) 所示为用单向节流阀和快排阀实现气缸慢进快退速度控制。



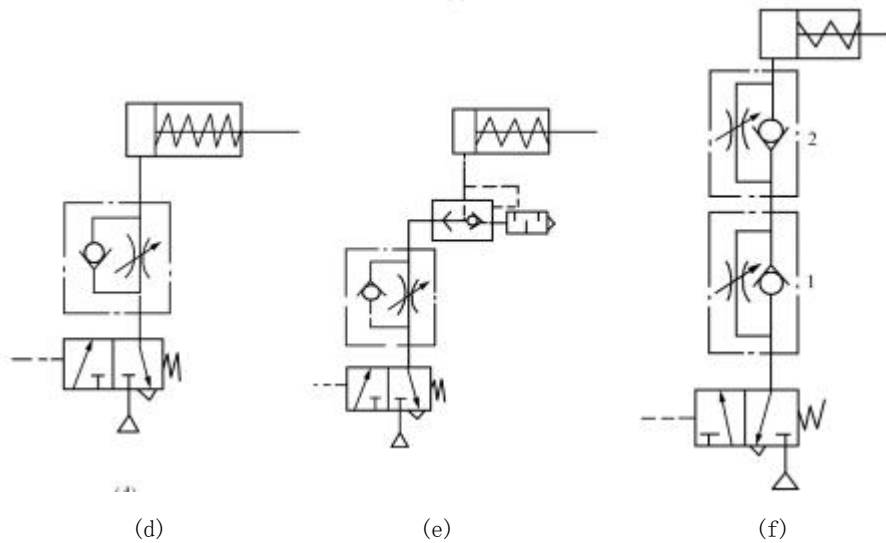


图 6-9 单作用气缸的其它速度控制回路

二、双作用气缸速度控制回路

图 6-10 所示为双作用气缸的速度控制回路，图 6-10 (a) 所示采用单向节流阀实现排气节流的速度控制，一般采用带有旋转接头的单向节流阀直接拧在气缸的气口上，安装使用方便。图 6-10 (b) 所示在二位五通阀的排气口上安装了排气消声节流阀，调节节流阀开度实现气缸背压的排气控制，完成气缸往复速度的调节。图 6-10 (c) 所示在二位四通阀的排气口安装排气消声节流阀的速度控制，此时气缸伸出和退回的速度是相同的，不能分开调节。使用图 6-10 (b) 和图 6-10 (c) 所示的速度控制方法时应注意，换向阀的排气口必须有安装排气消声节流阀的螺纹口，否则不能选用。

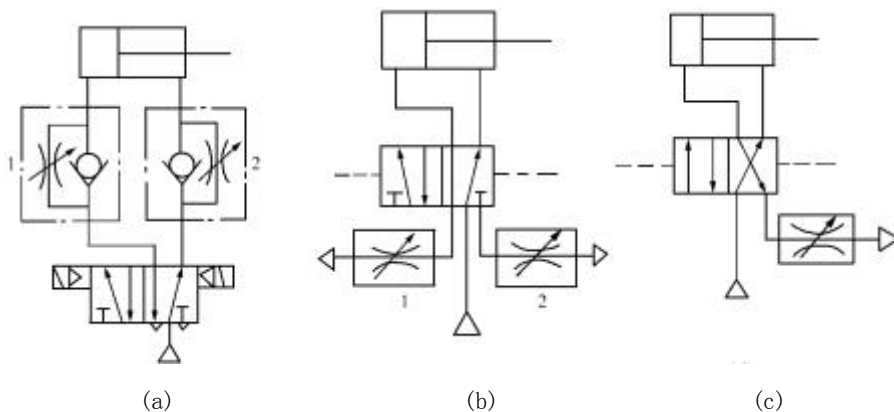


图 6-10 双作用气缸的速度控制回路

三、中间变速回路

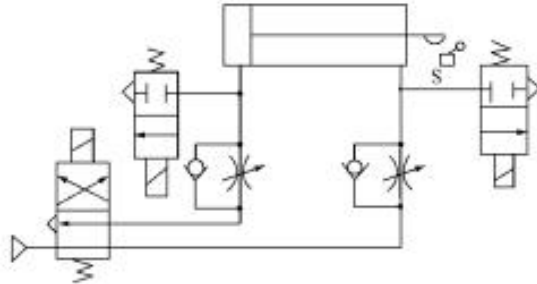


图 6-11 中间变速回路

变速回路。采用行程开关 S（安装在行程的中间位置）对两个二位二通电磁换向阀进行控制。气缸活塞的往复运动都是出口节流调速，当活塞杆在行程中碰到行程开关而使二位二通阀通电，则改变了排气的途径，从而使活塞改变了运动速度。

两个二位二通阀，分别控制往复行程中的速度变换。当电磁铁通电、快速排气；电磁铁断电、慢速进给。

四、快速往返回路

图 6-12 为快速往返回路。在快速排气阀 3 和 4 的后面装有溢流阀 2 和 5，当气缸通过排气阀排气时，溢流阀就成为背压阀了。这样，使气缸的排气腔有了一定的背压力，增加了运动的平稳性。

五、缓冲回路

图 6-13 是采用单向节流阀和行程阀配合的缓冲回路。当活塞前进到预定位置压下行程阀时，气缸排气腔的气流只能从节流阀通过，使活塞速度减慢，达到缓冲目的。此种回路常用于惯性力较大的气缸。

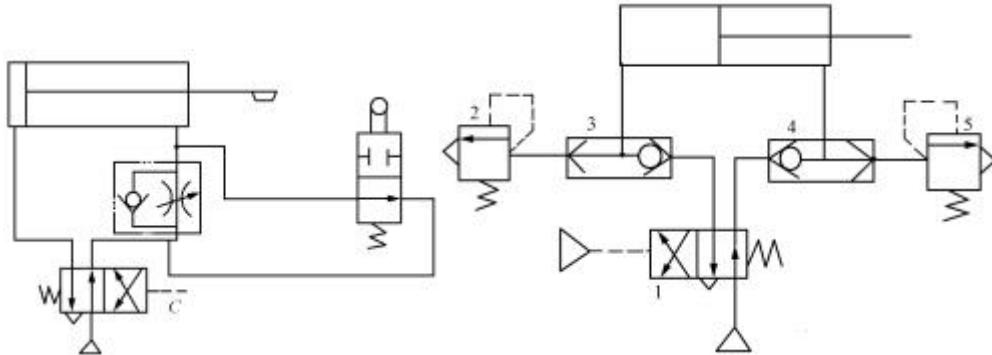


图 6-12 快速往返回路图

图 6-13 缓冲回路

图 6-14 所示为两种缓冲回路。图 6-14 (a) 所示是用机控阀和流量控制阀配合使用的缓冲回路。当气缸伸出运动时，有杆腔空气经二位二通机控阀和二位五通阀排出。伸出运动到末端使机控阀换向，有杆腔空气经节流阀排出，实现气缸运动缓冲。改变机控阀的安装位置，可改变开始缓冲的时刻。

图 6-14 (b) 所示的缓冲回路是利用顺序阀实现的。当气缸退回到行程末端时，无杆腔的压力已经下降到不能打开顺序阀，腔室内的剩余空气只能经节流阀排出，由此气缸运动得以缓冲。这种回路常用于气缸行程长、速度快的场合。

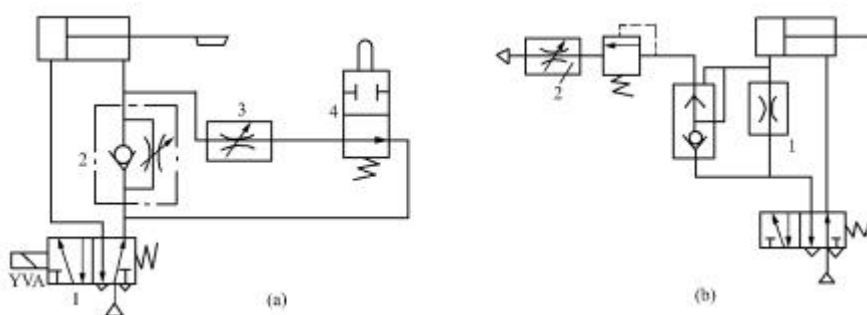


图 6-14 缓冲回路

第四节 安全保护回路

由于执行机构的过载，执行机构的快速运动等原因，都可能危及设备或操作人员的安全。因此在气动回路中，常加入安全保护回路。

一、过载保护回路

图 6-15 所示为一过载保护回路。在活塞向右运动过程中，若遇到偶然障碍而过载时，气缸左腔压力将升高，当超过预定值后，即打开顺序阀 3，使阀 2 换向，阀 4 随之复位，活塞立即向左退回。待排除障碍后，按动阀 1，活塞重新启动向右运动。

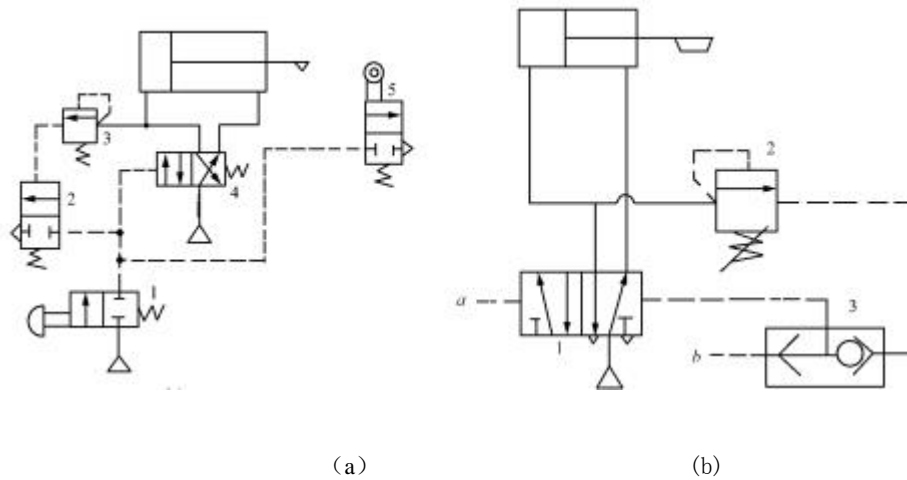


图 6-15 过载保护回路

图 6-15 (b) 所示为典型的过载保护回路，当气缸活塞杆在伸出途中遇到障碍使气缸过载时，活塞杆就立刻退回，实现过载保护。在图示回路中，若活塞杆伸出途中遇到障碍，则气缸无杆腔压力升高，顺序阀 2 打开，阀 3 换向，气缸立即退回。

二、互锁回路

图 6-16 所示为一互锁回路。回路中主控阀（二位四通阀）的换向受三个串联的机动三通阀的控制。即只有在三个机动阀都接通时，主控阀才能换向，活塞杆才能向下伸出。

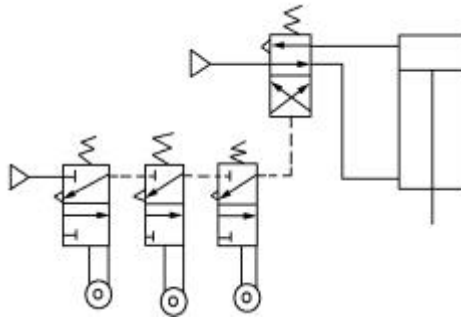


图 6-16 互锁回路

图 6-17 所示回路能防止各缸同时动作，是保证只有一个气缸动作的互锁回路。回路中主要利用梭阀 V_1 、 V_2 、 V_3 及换向阀 V_4 、 V_5 、 V_6 进行互锁。如阀 V_7 被切换，则其输出使阀 V_4 也换向，使气缸 A 活塞杆伸出；与此同时，缸 A 的进气管路的空气使梭阀 V_1 、 V_2 动作，锁住阀 V_5 、 V_6 ，所以此时阀 V_8 、 V_9 即使均有输入信号，气缸 B、C 也不会动作。只有阀 7 复位后，才能使其它气缸动作。

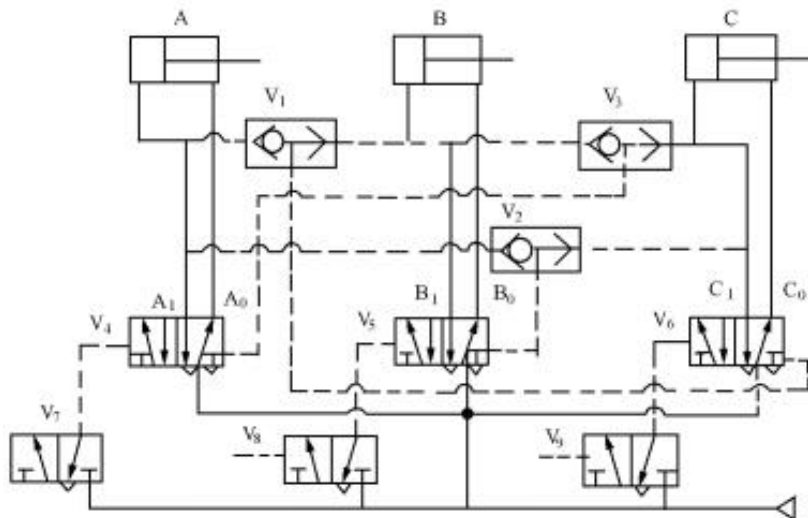


图 6-17 保证只有一个气缸动作的互锁回路

三、气压降低保护回路

图 6-18 所示是一种气压突然降低时的保护回路，其作用是当系统的压力突然降低至工

作安全范围以下时，保护人员和设备的安全。

如图示位置，管路内的工作气压在正常工作压力范围内，顺序阀 1 打开，气控阀 2 切换，气缸处于退回的状态，操作手动阀 4，气缸前进；操作手动阀 3，气缸退回。若在气缸前进途中工作气压突然降低到正常工作压力以下，则顺序阀关闭，气控阀 2 复位，手动阀 4 的气源失压，主控阀 5 的气压经阀 4 排气，气缸立刻退回。

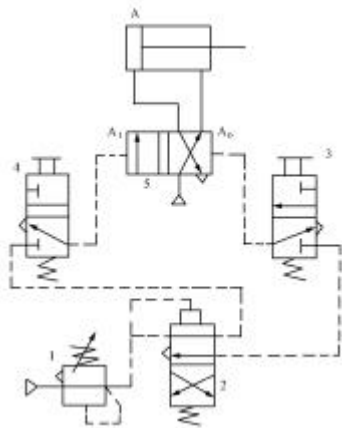


图 6-18 气压降低保护回路

四、双手操作回路

用两个二位三通阀串联的与门逻辑回路，就构成了一个最常用的双手操作回路，如图 6-19 (a) 所示，二位三通阀可以是手动阀或者脚踏阀。可以看出，只有当双手同时按下二位三通阀时，主控阀才能换向，而只按下其中一只三通阀时主控阀不切换，从而保证了只有用两只手操作才是安全的。

但是，如果其中一只三通阀已经按下或者一个阀的弹簧失灵而不能复位时，此时只要单独按下另一只三通阀气缸也能动作，显然这就不够安全。

图 6-19 (b) 所示为一种可靠性高的双手操作回路，只有同时按下两个手动阀，主控阀才能切换。如果其中一个因某种原因不能复位时，按下另一个并不能使气缸动作。

如图示位置，工作开始，气室 3 (C) 已充满压缩空气。操作时，只要两个手动阀 1 和 2 不同时按下，气室就与大气接通排气，不能使主控阀切换。只有双手同时按下手动阀，由于气室中已预先充满压缩空气，则空气经阀 2 通过节流阀使主控阀 4 换向。

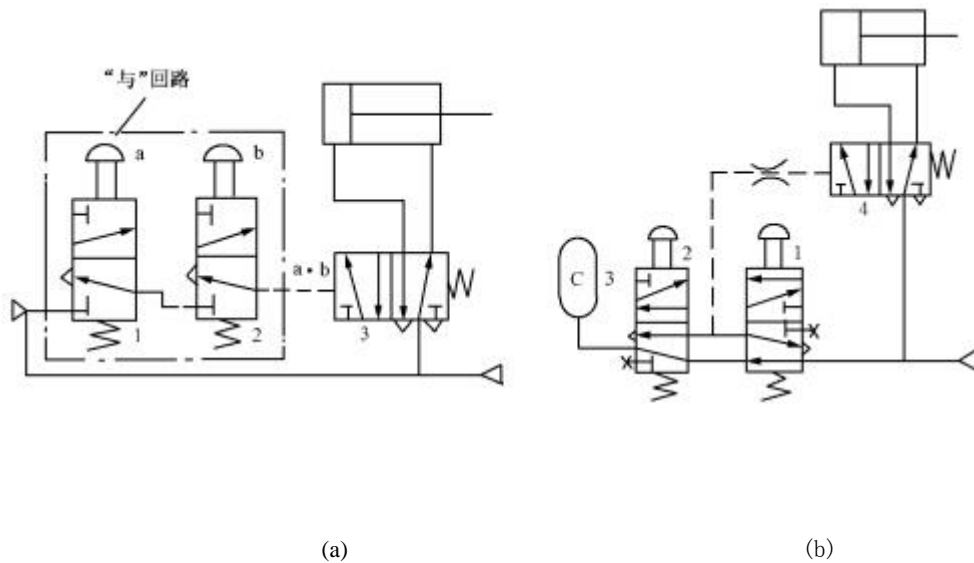


图 6-19 双手操作回路

[思考与练习题]

1. 对本章所提供的气路基本回路，说明其功能；画出其流程图。

[本章小结]

在气动系统中，气动基本回路可以完成某个特定的功能；在实际的工业系统中，其气动系统往往是比较复杂的，但也可以划分成完成不同功能的小模块，（亦即基本回路和常见回路）。本章主要介绍了以下基本回路：

①压力控制回路②方向控制回路③速度控制回路④位置控制回路⑤增压控制回路⑥延时控制回路⑦安全启动⑧安全保护回路。

同时，也列出了一些常用的回路：

①气缸的直接回路；②气缸的间接控制回路；③逻辑“与”功能回路；④逻辑“与”功能回路；⑤逻辑“与”功能回路；⑥记忆回路及速度控制回路；⑦快速排气控制回路；⑧压力控制回路；⑨时间控制回路；⑩顺序动作回路。

通过这些回路的认知，便于气动控制的系统分析，设计以及组成完善的气动控制。要注意的是：在选用其中一些回路时，应根据实际情况，加以完善后才能使用，要随机应变，千万不能死记硬背。



第七章 气动系统实例

[教学目标]

- (1) 了解实际的工业系统中气动的应用
- (2) 了解气动系统设计的一些指导思想，并进行系统分析
- (3) 掌握控制流程图、气动回路图和气动-位移步骤图的绘制

[教学大纲]

本章介绍几个较简单的气动系统。通过这些实例的学习，加深系统分析能力，掌握一些设计方法。

第一节 气动夹紧装置

此系统是机床夹具的气动系统，其动作循环是：垂直缸 A 活塞杆下降将工件压紧，两侧的气缸 B 和 C 活塞杆再同时前进，对工件进行两侧夹紧，然后进行钻削加工，最后各夹紧缸退回，松开工件。图 7-1 (a) 是气动夹紧系统图，其工作原理如下所述：

用脚踏下阀 1，空气进入缸 A 的无杆腔，夹紧头下降与机动行程阀 2 接触后发出信号，空气经单向节流阀 6 进入二位三通气控换向阀 4（调节节流阀开度可以控制阀 4 的延时接通时间）。因此，压缩空气通过主阀 3 进入两侧气缸 B 和 C 的无杆腔，使活塞杆前进而夹紧工件，钻头开始钻孔。与此同时，流过主阀 3 的一部分压缩空气经过单向节流阀 5 进入主阀 3 右端，经过一段时间（由节流阀控制）后主阀 3 右位接通，两侧气缸后退回原来位置。同时，一部分空气作为信号进入脚踏阀 1 的右端，使阀 1 右位接通，压缩空气进入缸 A 的下腔，夹紧头退回原位。

夹紧头上升的同时使机动行程阀 2 复位，使空气换向阀 4 也复位（此时主阀 3 右位接通），由于气缸 B、C 的无杆腔通过阀 3、阀 4 排气，主阀 3 自动复位到左端进入工作状态，完成一个工作循环。此回路只有再踏下脚踏阀 1 才能开始下一个工作循环。

此回路还可用于压力加工和剪断加工。

由上述分析可得到以下的工作流程图 7-1 (b)。

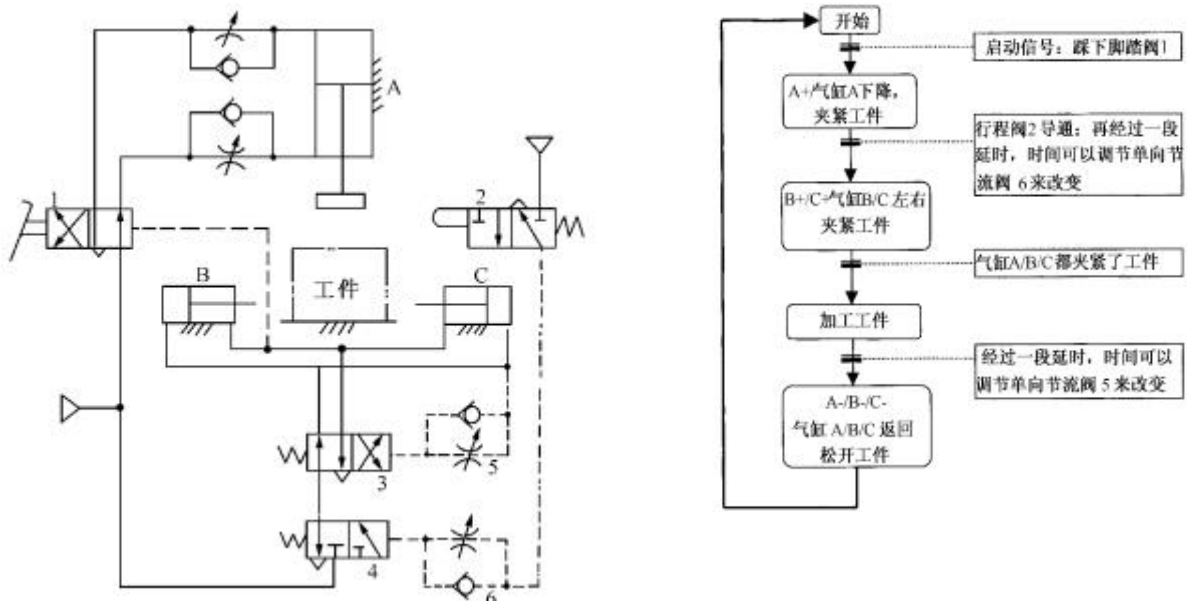
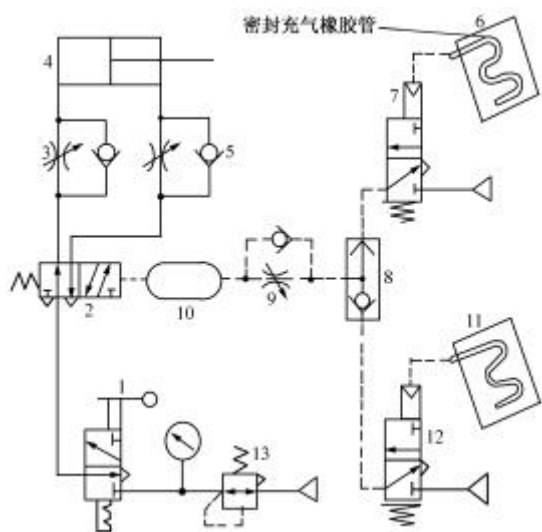




图 7-1 气源系统组成示意图
(a) 气动夹紧系统 (b) 流程图

第二节 拉门自动开闭系统

如图 7-2 所示，该装置是通过连杆机构将气缸 4 活塞杆的直线运动转换成拉门的开闭运动，利用超低压气动阀来检测行人的踏板（6 和 11）动作。在拉门内、外装踏板 6 和 11，踏板下方装有完全封闭的橡胶管，管的一端与超低压气动阀 7 和 12 的控制口连接。当人站在踏板上时，橡胶管里压力上升，超低压气动阀动作。



首先使手动阀 1 上位接入工作状态，空气通过气动换向阀 2、单向节流阀 3 进入气缸 4 的无杆腔，将活塞杆推出（门关闭）。当人站在踏板 6 上后，气动控制阀 7 动作，空气通过梭阀 8、单向节流阀 9 和气罐 10 使气动换向阀 2 换向，压缩空气进入气缸 4 的有杆腔，活塞杆退回（门打开）。

当行人经过门后踏上踏板 11 时，气动控制阀 12 动作，使梭阀 8 上面的通口关闭，下面的通口接通（此时由于人已离开踏板 6，阀 7 已复位），气罐 10 中的空气经单向节流阀 9、梭阀 8 和阀 12 放气（人离开踏板 11 后，阀 12 已复位），经过延时（由节流阀控制）后阀 2 复位，气缸 4 的无杆腔进气，活塞杆伸出（关闭拉门）。

图 7-2 拉门的自动开闭系统

该回路利用逻辑, 或, 的功能，回路比较简单，很少产生误动作。行人从门的哪一边进出均可。减压阀 13 可使关门的力自由调节，十分便利。如将手动阀复位，则可变为手动门。

[思考与练习题]

1. 对本章所讲述的气动实例，用自己的语言说明其功能。



[本章小结]

在工业自动化系统中，气动系统由于其特点（干净、速度较快等），使用场合较广；尤其是一些特殊行业。气动系统的控制，使用时一般可以分成三种类型：纯气动控制、电子-气动控制和 PLC 控制。对于简单的系统，一般使用前两者；对于较复杂的系统，往往使用后两者。



第八章 气动系统设计

[教学目标]

- (1) 了解实际的工业系统中气动系统的设计过程
- (2) 了解气动系统设计的一些指导思想，以及设计时要考虑的安全问题
- (3) 掌握气动回路图的简单设计（单缸、多缸控制）

[教学大纲]

本章介绍气动系统基本设计理念，以及所需考虑的问题等，让学员能够完成简单的气动设计任务。



第一节 气动系统的设计过程

一、设计任务的分析

根据设计任务的具体性质确定该项目的目标。方案设计要在分析阶段之后方可进行。为了确定每个工作步骤的内容、时间、任务落实，也可以先设计整个项目计划的流程图。

二、设计

首先是总的系统的设计，一般是确定系统硬件和控制手段。在这一阶段也可以考虑选择其它多种方案。

下一个阶段的设计包括以下几个方面：

- 硬件系统的设计
- 说明文件的制定，初始资料的收集准备
- 确定进一步的要求
- 制定项目进度表
- 查阅产品目录及其说明
- 成本核算

三、实施方案

工程要按设计的技术要求来完成，首先要定购系统硬件，并准备好构造整个系统的其它部件。要根据工程进度要求估计必要的交货日期，并制定一个工程进度表。在系统进行安装以前，必须先检测控制系统的性能，这对保证现场工作进行是十分重要的。安装工作包括：控制部分、执行机构、传感器的安装和调理组的连接。控制系统运行之前必须将安装工作全部完成。安装一旦结束，就可进行移交工作。先对所有元件进行性能测试，然后可对整个系统进行性能试验。最终要保证系统按条件顺序动作，机器遵照所要求的和规定的运行条件试运行，即包括元件发生故障，出现紧急情况，手动循环，自动循环，管道出现堵塞现象等等。直到元件产品的质量能够保证机器正常工作，方可正式移交使用。



四、评价

移交工作完成之后，要对系统的使用效果进行评价，与原始技术规定相比较。若能很好地维护机器和气动控制系统，显然将提高生产效益和减少成本。

五、维护与改进

平时有规律地、仔细地维护控制系统可以增加系统的可靠性，减少运行费用。

系统运行一段时间以后，某些元件可能会出现磨损的现象，这可能是由于产品选择不当或者运行条件发生了变化所引起的。定期进行防护性的维护检查，有助于诊断、排除故障，避免系统非正常或停止工作。

系统使用一段时间以后，可以换去旧的元件或者对控制系统加以改进，以便提高系统的可靠性。对于系统设计上的不足或以后增加的新功能可进行酝酿、改进，不断完善该系统。



第二节 设计时要考虑的安全问题

一、突然停电、故障的安全要求

控制系统突然发生故障，或者设备断电，必须保证不会影响操作人员的安全。配有多个气缸的气动设备必须有一个紧急按钮开关作为保护措施。同时，要根据设备设计和操作的特点，决定是否采取下列紧急停止措施：

- 关断气源，使设备处于无压条件。
- 使所有工作气缸回到其初始位置。
- 使所有气缸安全地停在现有运动位置上。

可从上述三种可能的措施中任选两种。

二、气动夹紧装置的安全要求

当气缸夹紧装置的控制系统设计在安装时必须保证避免操作失误。这可以通过手动开关加装保护盖及控制线路内部互锁来实现。

必须保证不得让夹紧装置夹住手。有夹紧装置的机器应当在夹紧装置完全夹紧后，方能允许驱动工作轴或进给装置。这可以通过采用压力传感器及压力顺序阀来检查夹紧状况而实现。

当机器夹紧工件时，供气系统的故障不应造成夹紧装置松开的现象。可以通过压缩空气贮气罐及控制回路内部自锁来实现。

三、对环境影响的考虑

气动系统可能出现两种形式的环境污染：

噪声：由压缩空气外泄所引起

油雾：由通过压缩机或压缩空气调理组引进的润滑油所引起，每当排气时，油雾随压缩空气排入大气中。机械工具或机械控制的机器排放出来的空气包含油雾。蒸气状的油雾常常可以在室内停留很长时间，如果被人吸入将是有害的。对于有大量气动马达或者设备上装有大口径气缸的场合来说，环境污染问题实际上是很突出的。

应当采取有效的相应措施，以便及时减少排入大气中的油雾含量。



四、排气噪声的控制

必须采取措施控制过大的排放噪声。一种是可以采用排放消声器来解决。

消声器可用来减少阀门排气口的噪声。一般来说，消声器对活塞杆的速度影响很小。而采用节流消声器时，流体阻力则是可调节的。这种消声器可用来控制气缸活塞杆的速度和阀门动作响应时间。

减少噪声的另外一种办法是，安装一些支管，将其接到驱动阀门的排气口，然后通过一个大的公共消声器排放。

五、操作安全

对气动系统进行检修或操作时，应当十分小心地拆卸和取出供气管道。管内所积聚的能量将在极短时间内排射出来，并以很大的力使管道鞭打，以至伤人。因此，应当尽可能在拆卸管道以前先切断管道两端的压缩空气，并释放压力。还有一种危险情况也是值得注意的，压缩空气中混入的杂质颗粒随空气爆出时，可能伤害眼睛。

为了保障人身安全，绝大多数气动控制系统装有安全装置和防护设备，一旦发现设备有问题，就应停止使用。



第三节 气动回路图的设计

一般地说，绘制气动回路图的方法有两种：

直觉法或称试凑法。

根据一定的规则设计，即系统设计法。

对于简单的气动系统可用功能叠加法，即根据各元件（组）的功能用有机叠加的办法来设计，再经实际搭接试验，最后优化定型。采用此法要求设计者具有一定的经验和知识的积累。

而采用后一种方法时，它的成功率很高，所花时间少，但要求熟悉一定的方法和掌握一定的基础理论。

无论采用哪一种回路设计方法，最终目的是要使系统具备一定的功能和实现可靠的操作控制。以前强调选用硬件价格不要过高的方案，而现在则更侧重于以清晰和布局明了的说明文件来保证系统的运行可靠和维护方便。

现在人们更多地采用系统设计方法。在系统设计方法中，控制系统总是根据规定的程序来构造，减少了设计人员人为因素的影响。在大多数情况下，这种系统设计的方法所需元件要比采用直觉法构造同一个回路所需元件多。但是，由于在设计构思阶段比较节省时间，以及便于维护等，所以系统设计方法要用更多的元件这一不足之处可以得到弥补。

无论用哪一种方法或技术绘制回路图，都需要有关设备的全部基础知识和所用元件的开关特性方面的知识。

第四节 单缸基本回路设计

一、气缸的直接控制

对单作用或双作用气缸的简单控制采用直接控制信号。直接控制用于驱动气缸所需气流相对较小的场合，控制阀的尺寸及所需操作力也较小。如果阀门太大，对直接手动操作来说，所需的操作力也可能太大。

例 1：一个单作用气缸的直接控制（图 8-1）

问题：按下按钮时，一个直径 25mm 的单作用气缸夹紧一个工件。只要按钮一直被按下，气缸就始终处于夹紧状态。如果按钮被释放，夹紧装置松开。

解：单作用气缸的控制阀门是二位三通阀门。这里因为气缸容量小，耗费的压缩空气少，可利用一个按钮式带弹簧复位的二位三通方向控制阀直接控制，如图 8-2 所示。

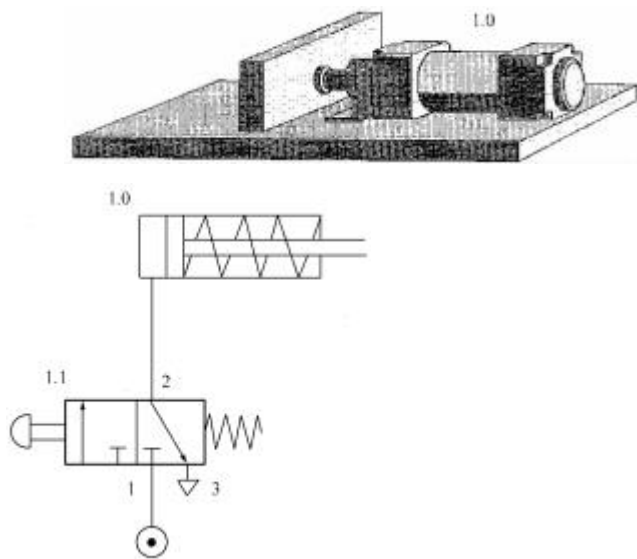


图 8-1 单作用气缸的直接控制



图 8-2 单作用气缸的直接控制

二、气缸的间接控制

对高速或大口径的控制气缸来说，所需气流的大小决定了应采用的控制阀门的尺寸大小。如果要求驱动阀门的操作力较大，采用间接控制就比较合适。当气缸运动速度较高，或需要一个不能直接操作的大口径阀门时，也属于同样的情况。这时控制元件要求口径大，流量大，要用控制端的压缩空气来克服阀门开启阻力。这就是间接控制。连接管道可以短

些，因为控制阀可以靠近气缸安装。另一个优点是，信号元件（即按钮式 3/2 阀）尺寸可以小些，因为它仅提供一个操作控制阀的信号，无需直接驱动气缸。这个信号元件尺寸较小且开关时间短。

例 2:

5 问题：当按钮被动作时，一个大口径单作用气缸伸出。

按钮阀被安装在远处。故这时应当采用间接控制方式来驱动气缸。一旦按钮被松开，气缸返回。

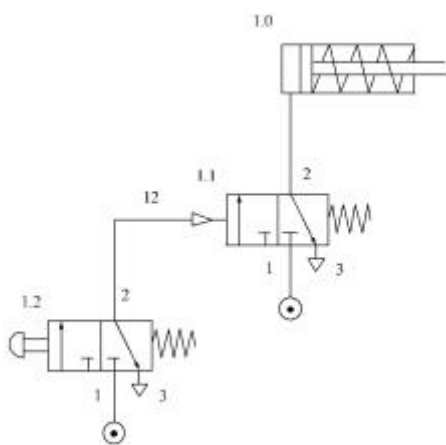
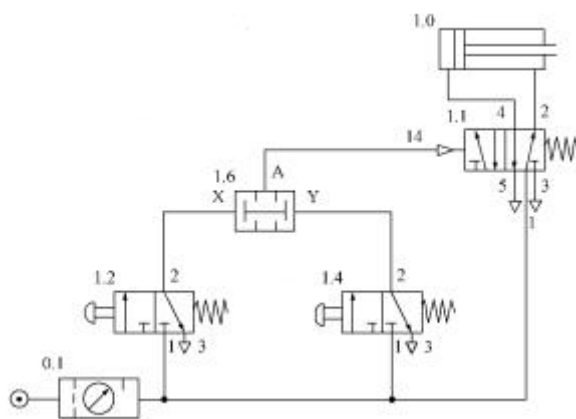


图 8-3 双作用气缸的“与”控制

解：如图 8-3，在初始位置时，单作用气缸回缩，且由于弹簧复位控制阀 1.1 处于未动作的位置。按钮阀处于弹簧复位的位置，使 2（A）接口与大气接通。故只有两个 3/2 阀的 1（P）管道内有压力。按下阀 1.2，2（A）有气，12（Z）有气，1.1 阀变位，气缸伸出。控制阀可以靠近气缸安装，控制大口径气缸时，其尺寸也较大。而按钮的尺寸可以很小，且安装在较远的地方。

三、逻辑“与”、“或”的功能

图 8-4 双作用气缸的“或”控制



气动梭阀和双压阀具有逻辑功能。梭阀有“或”功能的特性，它的两个输入 X 或 Y 至少有一个存在时，阀门的输出口 A 就会产生一个输出信号。对双压阀来说，它具有“与”功能特性，只有当输入 X 和 Y 同时存在时，输出端 A 才有信号。双压阀和梭阀通常控制输入信号的通断，从而满足回路特定的条件。例如，驱动一个气缸以前，要求考虑信号互锁，安全措施，以及

满足运行条件。逻辑元件在回路中起着信号处理的作用，即加工信号，使其满足一定的条件。

例 3 (图 8-4):

问题 1: 按下两个 3/2 阀的按钮, 双作用气缸的活塞杆伸出。假如松开其中一个按钮, 则气缸回到初始位置。不用, 与, 阀, 用两个 3/2 阀串联也能实现问题 2 (图 8=5): 如果两个按钮或其中之一按下, 双作用气缸伸出。假如两个按钮同时松开, 则气缸回缩。

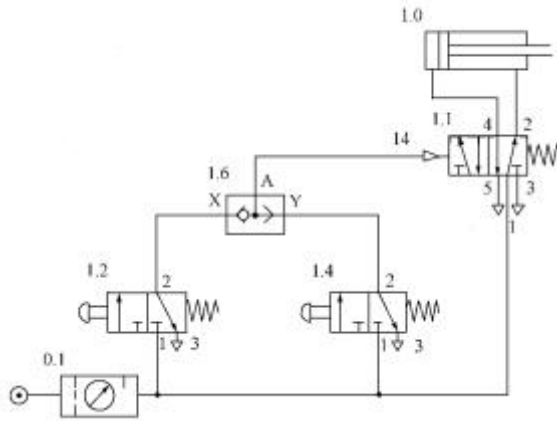


图 8-5 双作用气缸的“或”控制

四、记忆回路及速度控制

图 8-6 双气控阀的应用

双气控阀具有记忆功能, 即在它受到新的触发信号前具有保持原状态的特性。通过控制气体的流量可以实现气缸的速度控制。

例 4: 问题 (图 8-6): 按下 3/2 按钮阀 1.2, 一个双作用气缸的活塞杆就伸出。气缸停留在伸出的位置, 直到另一个按钮 1.3 被按下, 且第一个按钮开关 1.2 被松开。这时, 气缸回到初始位置。在新的启动信号发出之前, 气缸停留在初始位置。

气缸向两个方向运动的速度均可调节

解: 4/2 或 5/2 双端气控阀有所需的记忆功能。阀门将停留在原先的开关位置上, 直到接收到一个换向的信号。正是因为这个原因, 按钮装置发出的信号只需维持很短的时间。

流量控制阀可在两个方向上控制气缸速度, 并且两个方向上的速度可以独立调节。图中装了两个流量控制阀 1.01 和 1.02, 目的是对活塞向两个方向运动时的排气进行节流。而供气是通过流量控制阀旁的两个单向阀, 这样在供气时没有节流作用。

【思考与练习题】

1. 对本章所提供的气动习题, 用自己的语言说明其功能; 画出其流程图。

【本章小结】



气动系统中各执行元件，都是按照预先规定的顺序协调动作。这就是对执行元件实行程序控制，使其动作满足生产过程的要求。程序控制可分为时间程序控制和行程程序控制两种，但根据生产要求，也有采用两者兼有的混合程序控制。

行程程序控制是气动系统中被广泛采用的一种控制方式。其优点是结构简单，动作稳定，维修容易，特别是当程序执行过程中某节拍出现故障时，整个程序就停止运行，实现了过载保护。行程程序控制系统，按气缸在一个工作循环中往复的次数可分为多缸单往复系统和多缸多往复系统。

一般而言，气动系统的设计，可以是抓“两头”，连“中间”。“两头”是指气源部分和最终执行机构部分；“中间”是指控制元件。根据系统要求的功能，画出位移 1 步骤图；然后进行设计。最后，还需要进行验证。



第九章 气动系统维护

[教学目标]

- (1) 了解实际的工业系统中气动系统的维护工作
- (2) 了解气动系统故障的类型、产生的原因、解决的方法
- (3) 了解气动系统维护的注意事项

[教学大纲]

本章主要介绍了以下内容：维护的中心任务、维护保养的分类以及各类维护的手段和注意事项，气动故障的分类，各类故障产生的原因和分析、解决的方法，气动系统的安全事项，维修时的注意事项。本章将锻炼学员实际操作能力，带领学员进入工厂，通过现场实践，掌握基本气动维护技能，为后续工作奠定良好的基础。

一台气动装置，如果不注意维护保养工作，就会过早损坏或频繁发生故障，使装置的使用寿命大大降低。在对气动装置进行维护保养时，应针对发现的事故苗头，及时采取措施，这样可减少和防止故障的发生，延长元件和系统的使用寿命。因此，设备管理人员应制定气动装置的维护保养管理规范，并严格执行。

维护保养工作的中心任务是保证供给气动系统清洁干燥的压缩空气；保证气动系统的气密性；保证油雾润滑元件得到必要的润滑；保证气动元件和系统得到规定的工作条件（如使用压力、电压等），以保证气动执行机构按预定的要求进行工作。

维护工作可以分为经常性的维护工作和定期的维护工作。前者是每时每天必须进行的维护工作，后者可以是每周、每月或每季度进行的维护工作。维护工作应有记录，以利于今后的故障诊断和处理。



第一节 经常性的维护工作

日常维护工作的主要任务是冷凝水排放、检查润滑油和空压机系统的管理。

冷凝水排放涉及到整个气动系统，从空压机、后冷却器、气罐、管道系统直到各处空气过滤器、干燥器和自动排水器等。在作业过程中要定时按规范点检。在作业结束时，应当将各处冷凝水排放掉，以防夜间温度低于 1. 时，导致冷凝水结冰。由于夜间管道内温度下降，会进一步析出冷凝水，气动装置在每天运转前，也应将冷凝水排出。注意察看自动排水器是否工作正常，水杯内不应存水过量。

在气动装置运转时，应检查油雾器的滴油量是否符合要求，油色是否正常，即油中不要混入灰尘和水分等。

空压机系统的日常管理工作是：是否向后冷却器供给了冷却水（指水冷式）；空压机有否异常声音和异常发热，润滑油位是否正常。



第二节 定期的维护工作

周维护工作的主要内容是漏气检查和油雾器管理，目的是提早发现事故的苗头。漏气检查应在白天车间休息的空闲时间或下班后进行。这时，气动装置已停止工作，

车间内噪声小，但管道内还有一定的空气压力，根据漏气的声音便可知何处存在泄漏。严重泄漏处必须立即处理，如软管破裂，连接处严重松动等。其它泄漏应作好记录。

油雾器最好选用一周补油一次的规格。补油时，要注意油量减少情况。若耗油量太少，应重新调整滴油量。调整后滴油量仍少或不滴油，应检查油雾器进出口是否装反，油道是否堵塞，所选油雾器的规格是否合适。

每季度的维护工作应比每日和每周的维护工作更仔细，但仍限于外部能够检查的范围。其主要内容是：仔细检查各处泄漏情况，紧固松动的螺钉和管接头，检查换向阀排出空气的质量，检查各调节部分的灵活性，检查指示仪表的正确性，检查电磁阀切换动作的可靠性，检查气缸活塞杆的质量以及一切从外部能够检查的内容。

检查漏气时应采用在各检查点涂肥皂液等办法，因其显示漏气的效果比听声音更灵敏。

检查换向阀排出空气的质量时应注意如下三个方面：一是了解排气中所含润滑油量是否适度，其方法是将一张清洁的白纸放在换向阀的排气口附近，阀在工作三至四个循环后，若白纸上只有很轻的斑点，表明润滑良好；二是了解排气中是否含有冷凝水；三是了解不该排气的排气口是否有漏气。少量漏气预示着元件的早期损伤（间隙密封阀存在微漏是正常的）。若润滑不良，应考虑油雾器的安装位置是否合适，所选规格是否恰当，滴油量调节得是否合理及管理方法是否符合要求。若有冷凝水排出，应考虑过滤器的位置是否合适，各类除水元件设计和选用是否合理，冷凝水系统是否符合要求。泄漏的主要原因是阀内或缸内的密封不良，复位弹簧生锈或折断、气压不足等所致。间隙密封阀的泄漏较大时，可能是阀芯、阀套磨损所致。

像安全阀、紧急开关阀等，平时很少使用，定期检查时，必须确认它们的动作可靠性。让电磁阀反复切换，从切换声音可判断阀的工作是否正常。对交流电磁阀，若有蜂鸣声，应考虑动铁心与静铁心没有完全吸合，吸合面有灰尘，分磁环脱落或损坏等。

气缸活塞杆常露在外面。观察活塞杆是否被划伤、腐蚀和存在偏磨。根据有无漏气，可判断活塞杆与端盖内的导向套、密封圈的接触情况、压缩空气的处理质量，气缸是否存在径向载荷等。

回转活动部件的配合部位应特别加强保养，并根据活动部件的使用期限备足备品、坚



持定期检查更换，以免产生故障，因小失大，影响使用。在进行维护、保养时应注意劳动保护，员工间互相协助配合。



第三节 故障诊断与对策

一、故障种类

由于故障发生的时期不同，故障的内容和原因也不同。因此，可将故障分为初期故障、突发故障和老化故障。（一）初期故障在调试阶段和开始运转的二三个月内发生的故障称为初期故障。其产生的原因有：（1）元件加工、装配不良如元件内孔的研磨不符合要求，零件毛刺未清除干净，不清洁安装，零件装错、装反，装配时对中不良，紧固螺钉拧紧力矩不恰当，零件材质不符合要求，外购零件（如密封圈、弹簧）质量差等。

（1）设计失误设计元件时，对零件的材料选用不当，加工工艺要求不合理等。对元件的特点、性能和功能了解不够，造成回路设计时元件选用不当。设计的空气处理系统不能满足气动元件和系统的要求，回路设计出现错误。

（2）安装不符合要求安装时，元件及管道内吹洗不干净，使灰尘、密封材料碎片等杂质混入，造成气动系统故障，安装气缸时存在偏载。管道的防松、防振动等没有采取有效措施。

（3）维护管理不善如未及时排放冷凝水，未及时给油雾器补油等。

（二）突发故障

系统在稳定运行时期内突然发生的故障称为突发故障。例如，油杯和水杯都是用聚碳酸酯材料制成的，如它们在有机溶剂的雾气中工作，就有可能突然破裂；空气或管路中，残留的杂质混入元件内部，突然使相对运动件卡死；弹簧突然折断，软管突然爆裂，电磁线圈突然烧毁；突然停电造成回路误动作等。

有些突发故障是有先兆的。如排出的空气中出现杂质和水分，表明过滤器已失效，应及时查明原因，予以排除，不要酿成突发故障。但有些突发故障是无法预测的，只能采取安全保护措施加以防范，或准备一些易损备件，以便及时更换失效的元件。

（三）老化故障

个别或少数元件达到使用寿命后发生的故障称为老化故障。参照系统中各元件的生产日期、开始使用日期，使用的频繁程度以及已经出现的某些征兆，如声音反常、泄漏越来越严重、气缸运动不平稳等，大致预测老化故障的发生期限是可能的。

二、故障诊断



下面主要介绍三种常用的故障诊断方法。

(一) 分块法将系统分成小单元来考虑，思路会清晰、故障易呈现。

(二) 经验法

主要依靠实际经验，并借助简单的仪表，诊断故障发生的部位，找出故障原因的方法，称为经验法。经验法可按中医诊断病人的四字 2 望、闻、问、切 2 进行。

(1) 望 看执行元件的运动速度有无异常变化；各测压点的压力表显示的压力是否符合要求，有无大的波动；润滑油的质量和滴油量是否符合要求；冷凝水能否正常排出；换向阀排气口排出空气是否干净；电磁阀的指示灯显示是否正常；紧固螺钉及管接头有无松动；管道有无扭曲和压扁；有无明显振动存在；加工产品质量有无变化等。

(2) 闻 包括耳闻和鼻闻。如：气缸及换向阀换向时有无异常声音；系统停止工作但尚未泄压时，各处有无漏气，漏气声音大小及其每天的变化情况；电磁线圈和密封圈有无因过热而发出的特殊气味等。

(3) 问 即查阅气动系统的技术档案，了解系统的工作程序、运行要求及主要技术参数；查阅产品样本，了解每个元件的作用、结构、功能和性能；查阅维护检查记录，了解日常维护保养工作情况；访问现场操作人员，了解设备运行情况，了解故障发生前的征兆及故障发生时的状况，了解曾经出现过的故障及其排除方法。

(4) 切 如触摸相对运动件外部的手感和温度，电磁线圈处的温升等。触摸两秒钟感到烫手，则应查明原因。气缸、管道等处有无振动感，气缸有无爬行感，各接头处及元件处手感有无漏气等。

经验法简单易行，但由于每个人的感觉、实际经验和判断能力的差异，诊断故障会存在一定的局限性。

(三) 推理分析法

利用逻辑推理、从现象慢慢推理到本质寻找出故障的真实原因的方法。

1. 推理步骤

从故障的症状到找出故障发生的真实原因，可按下面三步进行：

- (1) 从故障的症状，推理出故障的本质原因。
- (2) 从故障的本质原因，推理出可能导致故障的常见原因。
- (3) 从各种可能的常见原因中，推理出故障的真实原因。

由故障的本质原因逐步推理出来的众多可能的故障常见原因是依靠推理和经验积累起来的。



2. 推理方法

由简到繁、由易到难、由表及里、由后向前、由结果向原因逐一进行分析，排除掉不可能的和非主要的故障原因；故障发生前曾调整或更换过的元件先查；优先查故障概率高的常见原因。

(1) 仪表分析法 利用检测仪器仪表，如压力表、差压计、电压表、温度计、电秒表及其它电子仪器等，检查系统或元件的技术参数是否合乎要求。

(2) 部分停止法 即暂时停止气动系统某部分的工作，观察对故障征兆的影响。

(3) 试探反证法 即试探性地改变气动系统中部分工作条件，观察对故障征兆的影响。如阀控气缸不动作时，除去气缸的外负载，察看气缸能否正常动作，便可反证是否由于负载过大造成气缸不动作。

(4) 比较法 即用标准的或合格的元件代替系统中相同的元件，通过工作状况的对比，来判断被更换的元件是否失效。

(5) 排它法 即假如满足其一定条件，看其是否有此现象，从而作出判断。为了从各种可能的常见故障原因中推理出故障的真实原因，可根据上述推理原则和推理方法，画出故障诊断逻辑推理框图，以便于快速准确地找到故障的真实原因。

第四节 维修工作

气动系统能正常工作多长时间，这是用户非常关心的问题。

各种气动元件通常都给出了它们的耐久性指标，可以大致估算出某气动系统在正常条件下的使用时间。譬如，若电磁阀的耐久性为 1000 万次，气缸的耐久性为 3000km，气缸行程为 200mm，阀控缸的切换频率为每分钟 3 次，每天工作 20h*，每年按 250 个工作日计算，则电磁阀可使用 11 年，气缸只能使用 8 年。故该阀控缸系统的寿命为 8 年。因为许多因素未考虑，故这是最长寿命估算法。譬如，各种元件中橡胶件的老化，金属件的锈蚀，气源处理质量的优劣，日常保养维护工作能否坚持等，都直接影响气动系统的使用寿命。

气动系统中各类元件的使用寿命差别较大，如换向阀、气缸等有相对滑动部件的元件，其使用寿命较短。而许多辅助元件，由于可动部件少，相对寿命就长些。各种过滤器的使用寿命，主要取决于滤芯寿命，这与气源处理后空气的质量关系很大。如急停开关这种不经常动作的阀，要保证其动作可靠性，就必须定期进行维护。因此，气动系统的维修周期，只能根据系统的使用频度，气动装置的重要性和日常维护、定期维护的状况来确定。一般是每年大修一次。

维修之前，应根据产品样本和使用说明书预先了解各元件的作用、工作原理和内部零件的运动状况。必要时，应参考维修手册。根据故障的类型，在拆卸之前，对哪一部分问题较多应有所估计。

维修时，对日常工作中经常出现问题的地方要彻底解决。对重要部位的元件、经常出问题的元件和接近其使用寿命的元件，宜按原样换成一个新元件。新元件通气口的保护塞，在使用时才应取下来。许多元件内仅仅是少量零件损伤，如密封圈、弹簧等，为了节省经费，可只更换这些零件。

拆卸前，应清扫元件和装置上的灰尘，保持环境清洁。必须切断电源和气源，确认压缩空气已全部排出后方能拆卸。仅关闭截止阀，系统中不一定已无压缩空气，因有时压缩空气被堵截在某个部位，所以必须认真分析检查各部位，并设法将余压排尽。如观察压力表是否回零，调节电磁先导阀的手动调节杆排气等。

拆卸时，要慢慢松动每个螺钉，以防元件或管道内有残压。一面拆卸，一面逐个检查零件是否正常。应以组件为单位进行拆卸。滑动部分的零件要认真检查，要注意各处密封圈和密封垫的磨损，损伤和变形情况。

要注意节流孔，喷嘴和滤芯的堵塞情况。要检查塑料和玻璃制品有否裂纹或损伤。拆



卸时，应将零件按组件顺序排列，并注意零件的安装方向，以便以后装配。更换的零件必须保证质量。锈蚀、损伤、老化的元件不得再用。必须根据使用环境和工作条件来选定密封件，以保证元件的气密性和稳定地进行工作。拆下来准备再用的零件，应放在清洗液中清洗。不得用汽油等有机溶剂清洗橡胶件、塑料件。可以使用优质煤油清洗。

零件清洗后，不准用棉丝、化纤品擦干。可用干燥清洁空气吹干，涂上润滑脂，以组件为单位进行装配。注意不要漏装密封件，不要将零件装反。螺钉拧紧力矩均匀，力矩大小应合理。

安装密封件时应注意：有方向的密封圈不得装反。密封圈不得装扭。为容易安装，可在密封圈上涂敷润滑脂。要保持密封件清洁，防止棉丝、纤维、切屑末、灰尘等附着在密封件上。安装时，应防止沟槽的棱角处、横孔处碰伤密封件。与密封件接触的配合面不能有毛边，棱角应倒圆。塑料类密封件几乎不能伸长。橡胶材料密封件也不要过度拉伸，以免产生永久变形。在安装带密封圈的部件时，注意不要碰伤密封圈。螺纹部分通过密封圈，可在螺纹上卷上薄膜或使用插入用工具。活塞插入缸筒壁上开孔的元件时，孔端部应倒角 15° – 30° 。

配管时，应注意不要将灰尘、密封材料碎片等异物带入管内。

装配好的元件要进行通气试验。缓慢升压到规定压力，应保证升压过程中直至规定压力都不漏气。

检修后的元件一定要试验其动作情况。譬如对气缸，开始将其缓冲装置的节流部分调节到最小。然后，调节速度控制阀使气缸以非常慢的速度移动，逐渐打开节流阀，使气缸达到规定速度。这样便可检查气阀、气缸的装配质量是否合乎要求。若气缸在最低工作压力下动作不灵活，必须仔细检查安装情况。

第五节 气动维护案例

一般而言，对于企业（公司）的系统设备的维护；除了如机器部件、润滑、油压、气压（气动）、驱动系统和电气等这些基本的检查项目外，还要根据每个公司的需要，选择设备的安全性和工艺条件等。

维护的实施一般按照下列程序：

- (1) 画出系统流程图；
- (2) 画出系统方框图；
- (3) 设定检查区域；
- (4) 指出检查对象。

一、气动系统流程图

如图 9-1 所示为一般企业的气动系统流程图。



图 9-1 气动系统流程图

二、气动系统方框图

图 9-2 为一般的气动系统方框图。

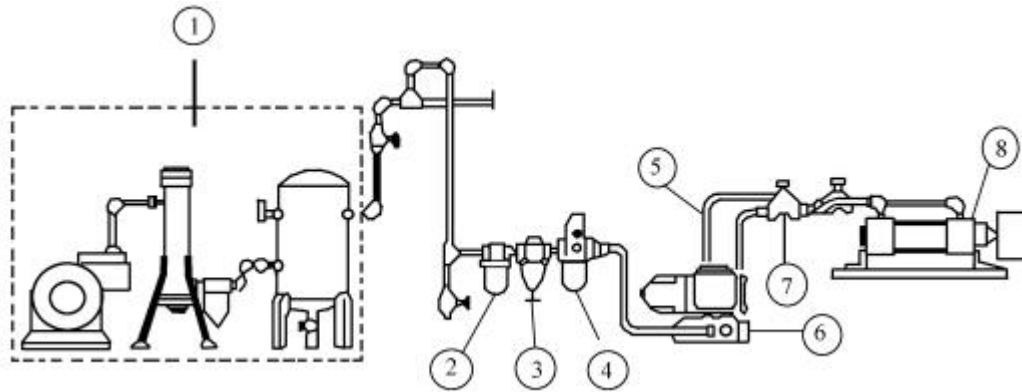


图 9-2 气动系统方框图

三、气动系统检查项目

①供气系统； ②过滤器； ③压力控制阀； ④注油器（油雾器）； ⑤管道和接头； ⑥方向控制阀； ⑦流量控制阀； ⑧传动装置。

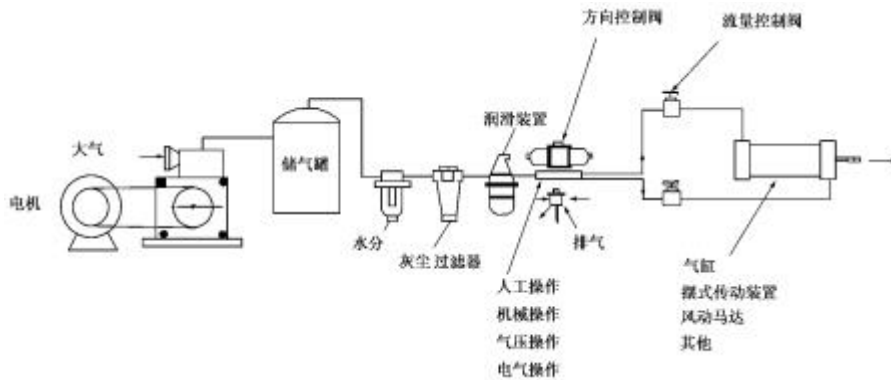


图 9-3 气动系统的构造

气压（动）系统的构造如图 9-3. 为一般气动系统的构造，表 9-1 为系统的主要部分及其作用。



表 9-1 系统构造及其作用

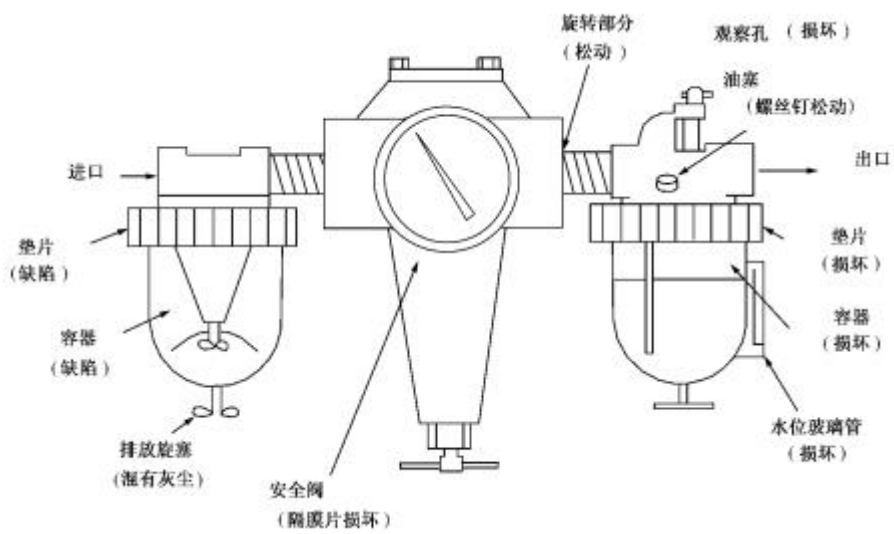
(1)		(2)	(3)	(4)	(5)		(6)	(7)
空气压缩机、发电机	储气罐	防护装置空气过滤器	压力控制器、调节器	供油装置油雾器	噪音减压器消音器	方向控制器\电磁阀	压力控制器\速度控制器	传动装置气缸
产生压缩空气	储存压缩空气作为能量使用	清除杂质，如压缩空气中的灰尘和水分	调节压缩空气的压力和保持气缸内的气压	向电磁阀和气缸等提供润滑剂	消除电磁阀中释放到大气中的空气	采用电气信号改变压缩空气流量方向	通过调节压缩空气的流量来改变气缸速度	采用输入压缩空气来重复直线运动，进而完成做功

四、检测对象及其检测点

一般而言，漏气是不可预料经常发生的现象；以下 6 项是最普遍泄漏的情况：

- ① 每个装置的接头部位；
- ② 安全阀的插头；
- ③ 容器的垫片；
- ④ 容器损坏；
- ⑤ 水位玻璃管损坏；
- ⑥ 润滑物的油塞。

图 9-4 检测对象及其检测点



如图 9-4 为气源处理的主要部分（通常称为三联件），图中标出了可能出现漏气的检测点和原因。

（一）油水分离器

1. 简介

压缩空气中往往包含水、油微粒和灰尘等杂质。油水分离器就是通过清除这些杂质来净化空气。当油水分离器没有适当地进行保养，水或杂质就会进入后续管道中；结果，含有油、水和杂质的混合物就强行地进入到电磁阀和气缸中。当水或杂质进入电磁阀后，它的内部就会生锈；封装件和 O 形密封圈就会受到损坏，导致漏油或影响轴运动，电磁阀也停止了正常工作。此外，渗入到螺线管线圈中的水或杂质还会引起滞塞和电气短路；而且，滤芯的堵塞会导致速度和滤芯输出的降低。

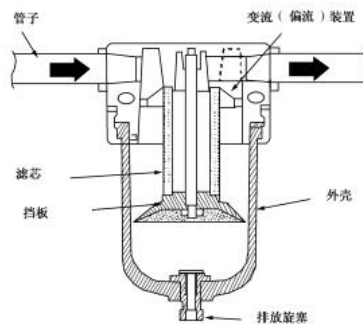


图 9-5 为油水分离器的结构图

2. 检查点

为了使油水分离器充分发挥其性能，在维修和检查过程中必须要执行的内容如下：

（1）不断地清除积聚在油水分离器（透明容器）上的排放物（水、杂质）。如果积聚的排放物高于挡板，那么过滤器就无法过滤了。

（2）如果过滤罩很容易被污染，那么就不可能辨别是否有积聚的排放物，因此一定保持过滤罩外部和内部的清洁。当清洗过滤罩时，采用煤油或中性民用洗涤剂，但是不要用稀释剂、三氯乙烯或汽油等物质。

（3）为了防止滤芯（滤网）的堵塞，约每 2 个月就要清洗一次。完全充满污垢和堵塞的滤芯要更换。清理滤芯时，要采用煤油或中性民用洗涤剂，采用鼓风机去清理滤芯内部。

※判断滤芯是否堵塞，当气缸移动时，压力计指针是否有一个明显的向下运动。

注意：

排放阀要用手打开，而不能使用工具。

(二) 过滤器

1. 简介

过滤器主要是进一步滤除压缩空气中的杂质。图 9-6 为过滤器的结构示意图。

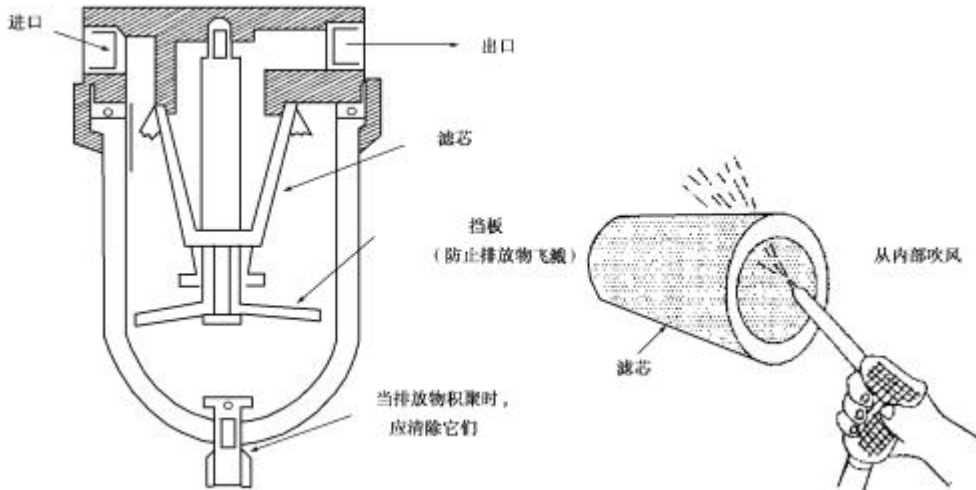


图 9-6 过滤器的结构示意图

1. 检查点

(1) 当清洗过滤器滤芯时，不要从外面吹风。

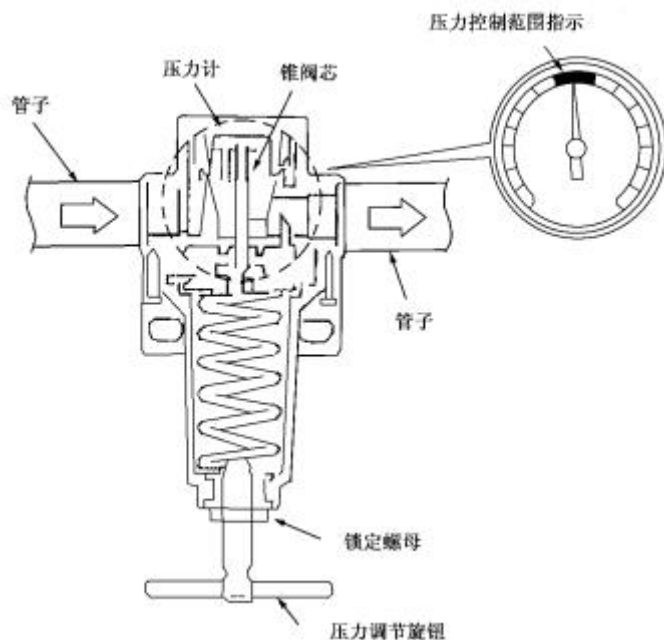
(2) 滤芯的堵塞主要是由于气缸速度和输出降低。当发生堵塞时，应该进行清理。当大量的灰尘或排放物附着在滤芯上时，应通过吹风进行清洗。不要忘记放一个罩以便防止灰尘四处飞溅。

(三) 压力调节器（压力控制阀）

1. 简介

调节器的功能就是调整气压设备的空气压力至适当的状态。如果出口压力太高，那么，其高出工作压力的气体就从溢流孔上排出，从而维持出口压力基本不变。

一般来说，当出现下列现象时，气体会马上从减压阀的释放孔中释放出来：1 空气流到出口时；2 出口出现不正常的压力时；3 采用把



手减小出口侧压时。

图 9-7 为压力调节器的结构示意图。

1. 检查点

- (1) 始终保持压力计清洁以便容易读数；
- (2) 将压力计定期拆开进行全面清洗；
- (3) 调整压力时，打开把手锁，向右（顺时针）旋转把手（调节螺旋）会使出口压力增大，向左旋转把手时会使出口压力减少。一旦完成压力调整，拧紧把手锁，使把手保持不动。

(四) 润滑装置（油雾器）

1. 简介

对所有运动的部位进行润滑是必要的；无论是在什么地方，对于气压设备同样适用。如果采取了正确的润滑，气缸和电磁阀的故障可以减少一半或更多。润滑装置具有两种功能，一是储存润滑油，另一方面是将润滑油释放到压缩气体中，主要是对运动的部件进行润滑（如电磁阀的阀芯和气缸等）。图 9-8 为润滑装置的结构示意图。

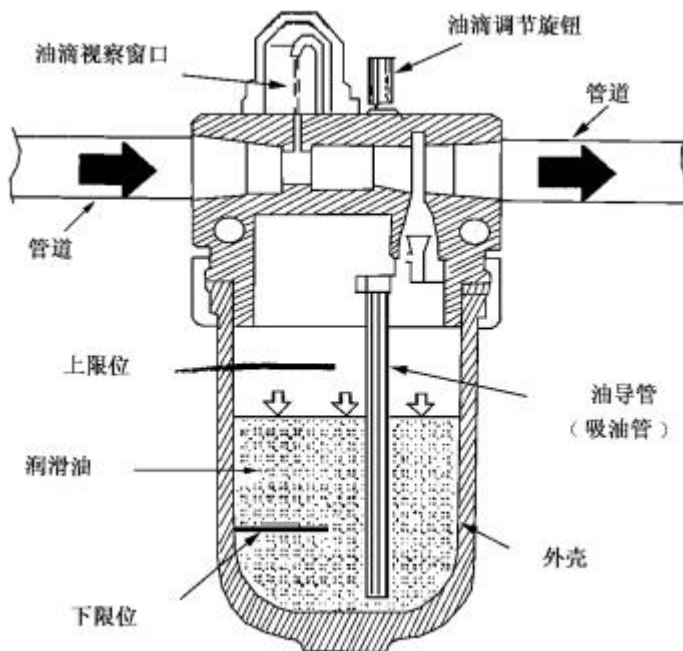


图 9-8 润滑装置的结构示意图

2. 检查点

(1)根据润滑装置的结构,有些装置可以在不关断气源的情况下加油,而有些则不行。所以,要根据说明书等,来检查你所使用的设备。

(2)当给润滑物加油时,不能超过上限位线。

(3)按规定添加油的种类。

(4)清洗油杯(储存油的容器);始终保持油杯清洁,以便可以目视检查杯内剩余的油和杂质。如果油杯受到严重污染,应该清除并用中性洗涤剂清洗。对于空气过滤罩也采用同样的方式,但不能使用稀释剂和汽油等。

(5)如果空气过滤器没有正确地保养,水就会积聚在润滑物内,杂质混合在油中。在这种情况下,清除罩内的油,倒入一些新油。

(6)当油不喷射时,拆开润滑物进行全面清洗或者清除润滑物。

(7)油流量的调节;通常,每分钟油滴量为 $1* + 1'$ 滴,过多或太少的滴油量也会出现其他的故障。采用旋转活塞调节油量;向右旋转活塞就会增加流量。如果流量不能调整,应更换调节器。

(五) 方向控制阀(电磁阀)

1. 简介

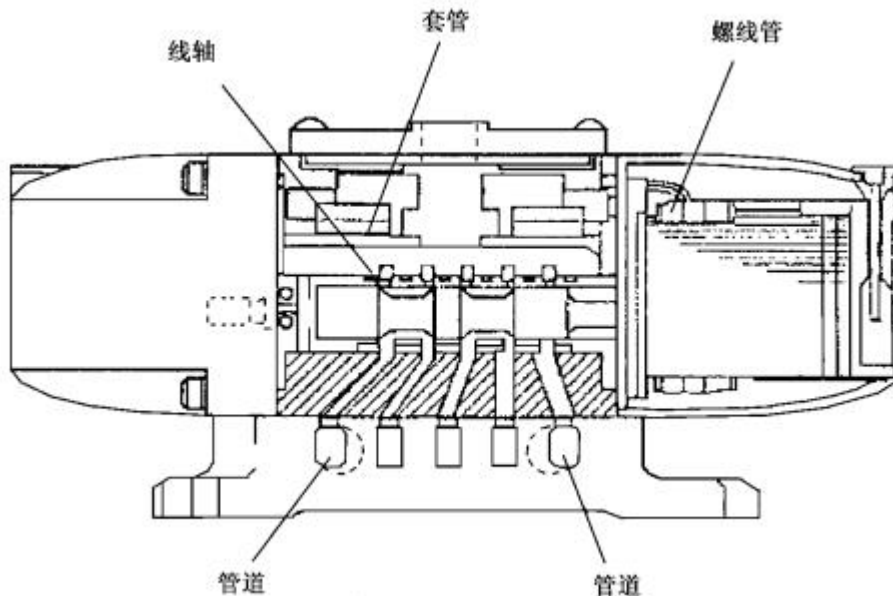


图 9-9 为电磁阀的结构示意图。

控向阀一般有 2、3、4 或 5 个进气口,从结构上为绕线轴式控制阀或锥形阀。手动操作的电磁阀称为手动转换阀,而用脚操作的电磁阀称为脚踏电磁阀。控制阀的功能就是传递和阻止空气。这些阀门常常用于操作气缸、空气离合器、制动器等。

2. 检查点

(1) 生产线上的控向阀必须要定期进行彻底检修，平时要花费一定的时间维护它们。鉴于此原因，注意正常情况下的设备（气压设备）的操作条件是极其重要的。

(2) 当运动与平常不同（反应慢、有气味等）时，尽快地与维修部门联系。迅速的检测和处理是将设备停工率减到最小的首要任务。

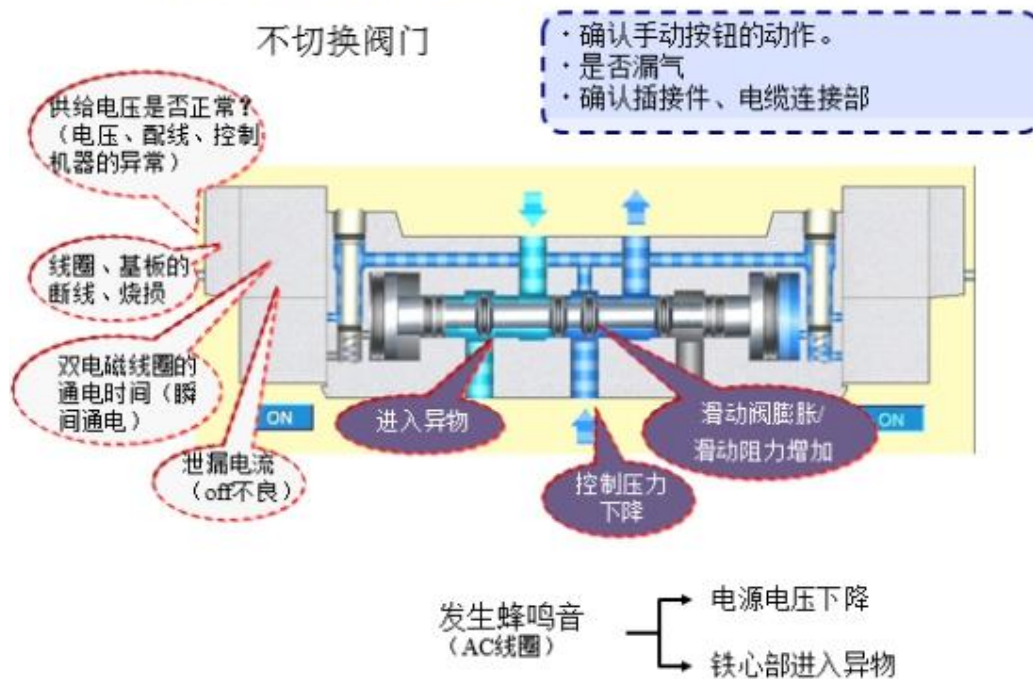
(3) 电磁阀对灰尘、水和不同种类的油十分敏感。电线口处的空隙或排气口的打开会进入杂质，导致电磁阀的加速退化和引起故障。因此，这样的开口应该进行密封以便防止杂质进入，并且排气口必须有消声器。同时，保持电磁阀的清洁和消除次要缺陷是保证较长使用寿命的关键。

另外，对于电磁阀，还要注意以下 6 项情况：

①无漏气，②无松动固定螺钉，③电气接点处无松动螺丝，④无裸露接点电线，⑤电磁阀无异常声音或发热（如果正常的话，可以用手触摸，约 60℃，⑥线圈盒上无松动固定螺栓。

故障实例解析：

故障处理方法（弹性密封型电磁阀实例）



(六) 气缸

1. 简介

气缸将压缩空气的伸缩能转换为用于做功的机械能。活塞将气缸分成两个气室，并充

满了压缩空气，在交替转换的基础上进行直线运动。图 9-10 为气缸的结构示意图。

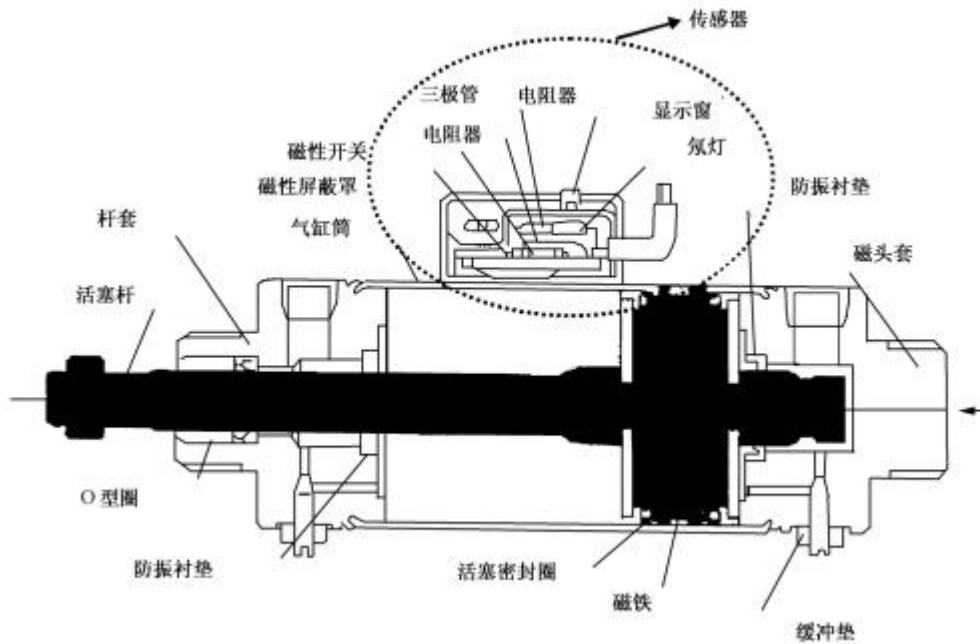


图 9-10 气缸的结构示意图

2. 检查点

- (1) 一般来说，气缸是作为一个整体元件，如果是机械原因损伤，也只能报废。
- (2) 对于气缸的检查，主要是检查其活塞杆是否弯曲，观察气缸的运动特性（如爬行等）；同时，也注意活塞杆上的润滑油是否过多或太少。
- (3) 仔细调整传感器的操作范围和最敏感部位。

图 9-10 为传感器调试时要注意的情况（出现迟滞现象）。

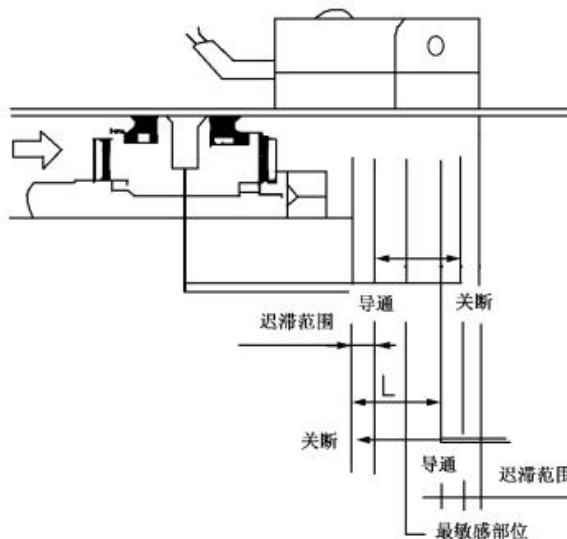


图 9-10 传感器调试注意情况

(七) 其它

1. 型密封圈的使用

(1) 在拉力作用下采用小的 O 型密封圈

O 型密封圈一般用于气缸的活塞部位。O 型密封圈还必须用于指定尺寸的操作部件中。即使是在紧急情况下，不同尺寸的 O 型密封圈也不能使用。这是因为使用同一厚度而外部直径较小的 1 型密封圈容易发生损坏甚至在受到拉力的时候就会破碎。图 9-11 为密封圈错误安装示意图。

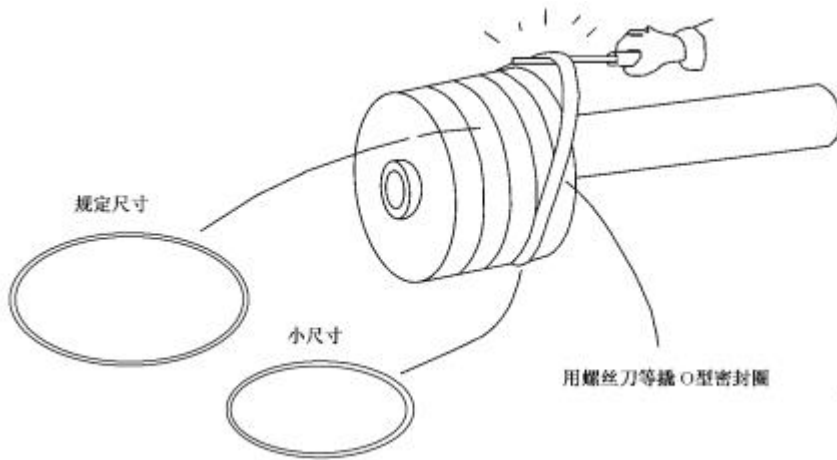


图 9-11 密封圈错误安装示意图

(2) 不要拧紧突出的 O 型密封圈

在管子接头中，一旦套筒螺母被紧固，那么就看不到 O 型密封圈。在安装 O 型密封圈时，要注意下列事项。图 9-12 为密封圈正确安装示意图。

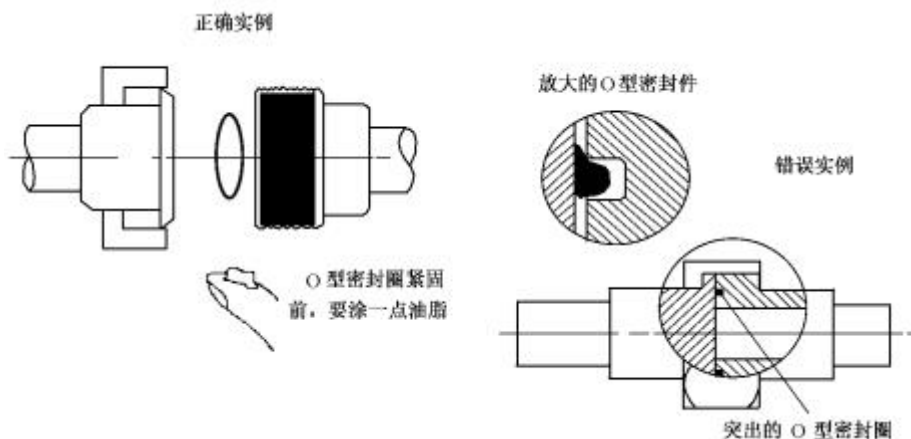


图 9-12 密封圈正确安装示意图

①型密封圈的外部直径符合管子接头的外径。

②涂一些油脂保证 1 型密封圈不会掉下来。

2. 管道维修

对于螺栓部件,密封带是防止发生泄漏的必需品。采用 Teflon 胶带,一般具有约 200°C 耐热度。图 9-13 为胶带缠绕示意图。

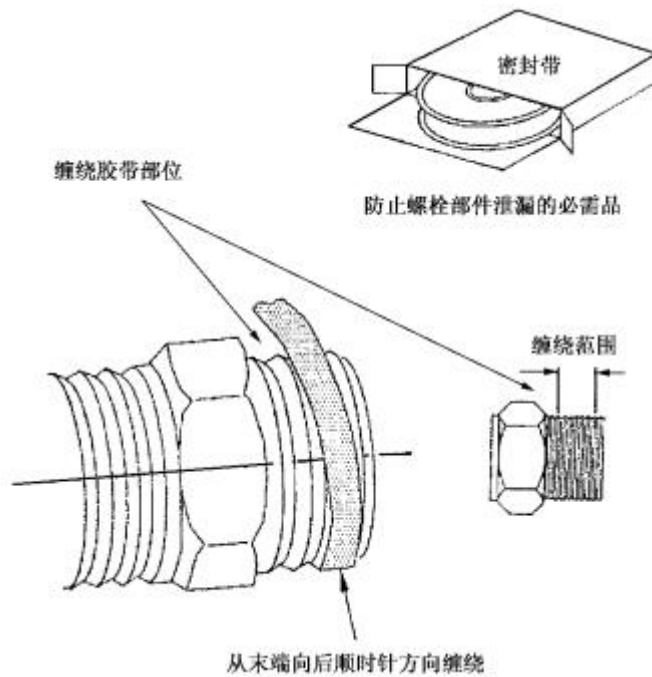
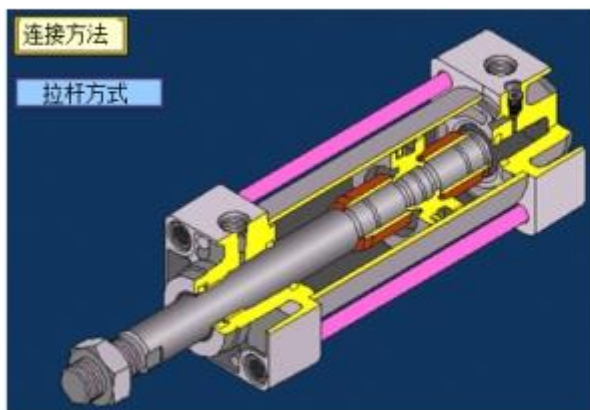


图 9-13 胶带缠绕示意图

说明:

- (1) 从末端保留 1 至 1.5 的螺纹线圈。
- (2) 缠绕 1.5-2 圈密封带(不要在周围缠绕太多胶带)。
- (3) 按照管子螺旋大小顺时针方向从末端向后方 50 %重叠缠绕密封带。

密封圈的更换



拧松联杆螺帽、进行分解。
还原、拧紧时，4根联杆的张力应保持一致。
请按照下表所示的拧紧扭矩进行拧紧。

表-3 拉杆螺母的适当紧固扭矩

管内径	适当的紧固扭矩 N·m
32	5.1
40	
50	11.0
63	
80	25.0
100	
125	30.1

按照操作说明书记载的扭矩拧紧

气缸维护实例

密封圈的更换

消耗部件的更换

活塞杆密封圈、活塞密封圈会由于与活塞杆、缸筒之间的滑动摩擦而产生磨损。

⇒从密封圈漏气时，最好整体更换密封圈套件。

MB系列实例

更换部件：密封圈组件

管内径	序号	内容
32	MB32-PS	上述编号14、15、16、18的组件
40	MB40-PS	
50	MB50-PS	
63	MB63-PS	
80	MB80-PS	
100	MB100-PS	

活塞杆密封圈
活塞密封圈
缓冲密封圈
缸筒静密封圈

* 密封圈组件中，14、15、16、18为一组，因此，请按照各管径内径的装配编号进行装配。

密封圈套件

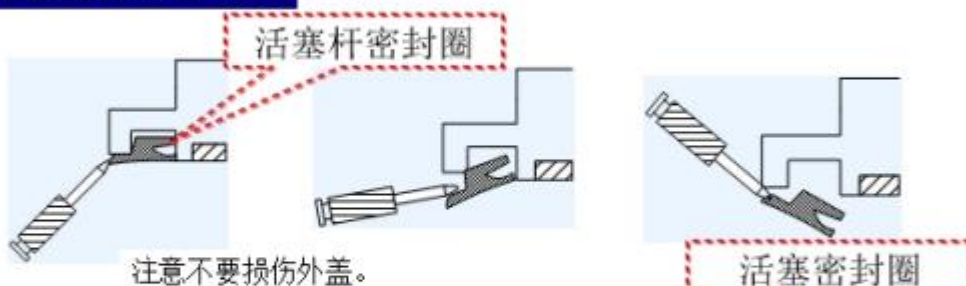


- 气缸主体
- MBB32-100@10700
- 密封圈组件
- MB32-PS @600

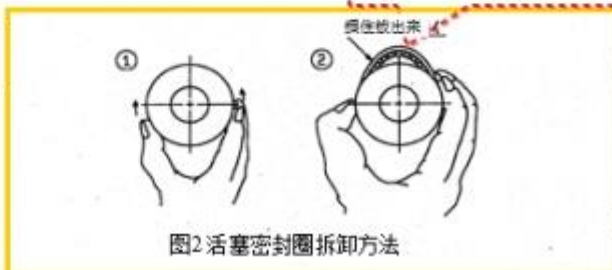
密封圈的更换

擦拭拆卸下来的气缸上的旧润滑脂。
更换时，注意不要粘附异物（铁屑等）

拆卸活塞杆密封圈



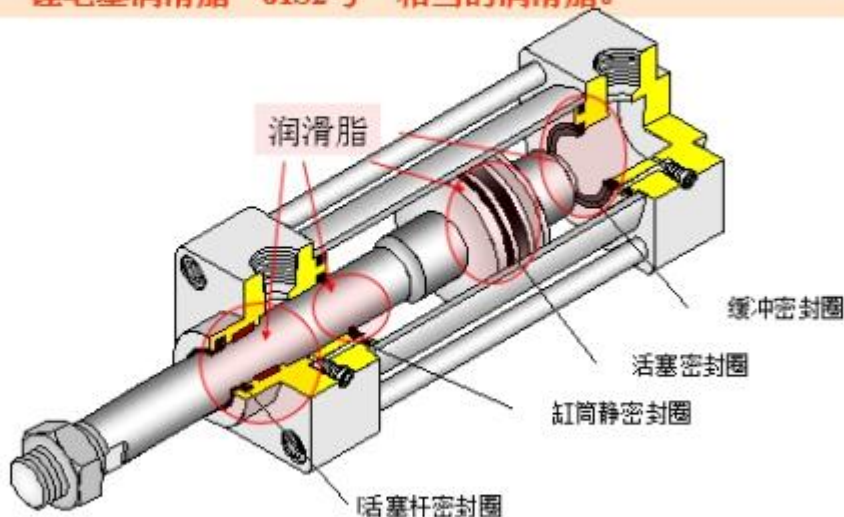
拆卸活塞密封圈



密封圈更换时涂敷润滑脂

将用干净布将污浊的润滑脂擦拭干净，然后在密封圈滑动部位涂上新的润滑脂。

使用与“**锂皂基润滑脂 JIS2号**”相当的润滑脂。



在密封圈、垫片上涂敷润滑脂后更换
⇒安装时，不易损伤。

五、案例维护小结

表 9-1 列出了工厂常见的气动设备系统维护知识。

部位	序号	检查项目	检查方法和判定标准
过滤器	1	检查是否有排放物堆积	清洗过滤器时，检查是否有排放物堆积在过滤套内
	2	检查过滤套是否损坏和内部是否有污渍	清洗过滤器时，检查过滤套是否损坏和内部是否有污渍
	3	检查变流装置	取下过滤套，目视检查变流器是否破裂、有裂缝或损坏
	4	检查滤芯	取下滤芯，检查是否有污垢和堵塞
	5	检查隔板	移开过滤套，取下隔板和检查是否有污垢、裂缝或变形



	6	检查过滤器的安装角度	采用测量仪器检查过滤器是否垂直安装
	7	检查管子安装部位是否漏气	用肥皂水检查管子接头是否漏气
压力控制阀	8	检查压力控制阀的工作条件	当旋转压力调整旋钮时，通过阅读压力计检查是否操作正确
	9	检查压力计, 0, 点	阻止空气和检查压力计指针是否指向
	10	检查压力计的控制范围	清洗压力计时，检查是否有破碎的玻璃容器、弯针和控制标记 检查设备规格和控制范围，确认无异常现象
	11	检查管子接头是否漏气	用肥皂水检查管子接头是否漏气
润滑物	12	检查润滑物的油量	清洗润滑物时，检查油位是否在上下限位之间
	13	检查油是否变质或混合了灰尘或杂质	移开过滤套，从套内取出一点油作样品，滴几滴到滤纸上检查是否有灰尘和杂质。而且，通过和油样比较判定油的等级
	14	检查油的类型	确认油箱上油的类型是否与设备规格上列举的一样
	15	检查滴油器	清洗滴油口，目视检查是否油滴符合规定的数量
	16	检查管子接头是否漏气	用肥皂水检查是否漏气
管子和接头	17	检查管子是否破裂或损坏	清洗管子时，检查管子是否破裂或损坏
	18	检查联轴器是否漏气	用肥皂水检查接头是否漏气
	19		清洗管子和管子接头时，检查管子



	9	检查弯管的安装方法	弯头的安装方法 管子是否特别弯曲？ 弯曲部件是否损坏？一般连接两个部件之间的管道，不宜用直角连接
方向控	20	检查控向阀的工作条件	手控方式向前、中和后转换气压流体方向，检查制动器的运动方向是否也向前、中和后
制阀	21	检查排气口是否漏气	操作制动器，检查加压过程中排气口是否漏气
	22	检查管子接头是否漏气	用肥皂水检查管子接头是否漏气
流量调	23	检查流量调整阀的工作条件	旋转流量调整旋钮并观察制动器的运动，检查是否准确地控制流量

续表

部位	序号	检查项目	检查方法和判定标准
整阀	24	检查流量调整配合标记	清洗时，检查是否有流量调整配合标记
	25	检查管子接头是否漏气	用肥皂水检查管子接头是否漏气
执行装置 (气缸)	26	检查管子接头是否漏气	用肥皂水检查管子接头是否漏气
	27	检查顶盖和杆套是否漏气	用肥皂水检查顶盖和杆套是否漏气
	28	检查活塞杆是否弯曲、有划痕、磨损或生锈	将活塞完全伸到前面位置，检查活塞杆是否弯曲用眼睛和手检查活塞杆是否有划痕、损坏和生锈
	29	检查活塞的工作条件	使活塞向前后移动，检查活塞杆是否弯曲检查操作停止时，活塞杆是否也停止工作
	30	检查制动器的固定螺栓	清洗制动器时，检查是否有松动的



		是否松动	固定螺栓
	31	检查活塞杆末端和加工点连接处是否松动或有咔哒声音	清洗时，检查活塞杆和加工点连接处是否松动或有咔哒声

[思考与练习题]

1. 为什么要进行维护保养工作？其中心任务是什么？
2. 维护工作的分类及其各自的任务是什么？
3. 气动系统中安全问题有哪些？
4. 故障种类有几种？各类故障是如何发生的，其原因是什么？故障诊断方法有几种？
5. 对于维修工作，维修之前应注意什么？维修时应注意什么？拆卸前应注意什么？拆卸时应注意什么？
6. 对于维修工作，机械如何装配、更换什么零件、零件清洗应注意什么？
7. 对于维修工作，安装密封件时应注意什么？配管时应注意什么？装配好的元件要进行什么试验，如何进行？
8. 检修结束后应注意什么？
9. 气动系统维护时，要注意哪些要点？

[本章小结]

在气动系统运行中，维护工作往往占了很大部分。当气动系统完成设计，到工厂开始运行时，就已经开始了维护任务。

本章主要介绍了以下内容，使学员能够在去公司（工厂）以前有一个概念。

- 维护的中心任务、维护保养的分类以及各类维护的手段和注意事项
- 气动故障的分类，各类故障产生的原因和分析、解决的方法
- 气动系统的安全事项
- 维修时的注意事项

同时，在本章的最后也列举了一些气动系统的维护要点，请仔细体会。



第十章 液压系统流体力学基础

[教学目标]

- (1) 熟悉液压传动的工作原理及组成。
- (2) 了解液压传动的优缺点及其应用。

[教学目标]

本章主要介绍了机电一体化系统中传动系统之一：液压传动。重点是要学员了解气动系统的组成、工作原理、特点及其应用场合。

第一节 液压传动的工作原理及其组成

一、液压传动的工作原理

液压传动的工作原理，可以用一个液压千斤顶的工作原理来说明。

图 10-1 是液压千斤顶的工作原理图。大油缸 9 和大活塞 8 组成举升液压缸。杠杆手柄 1 小油缸 2。小活塞 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，小活塞下端油腔容积增大，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，小活塞下移，小活塞下腔压力升高，单向阀 4 关闭，单向阀 7 打开，下腔的油液经管道 6 输入举升油缸 9 的下腔，迫使大活塞 8 向上移动，顶起重物。再次提起手柄吸油时，单向阀 7 自动关闭，使油液不能倒流，从而保证了重物不会自行下落。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，重物就向下移动。这就是液压千斤顶的工作原理。

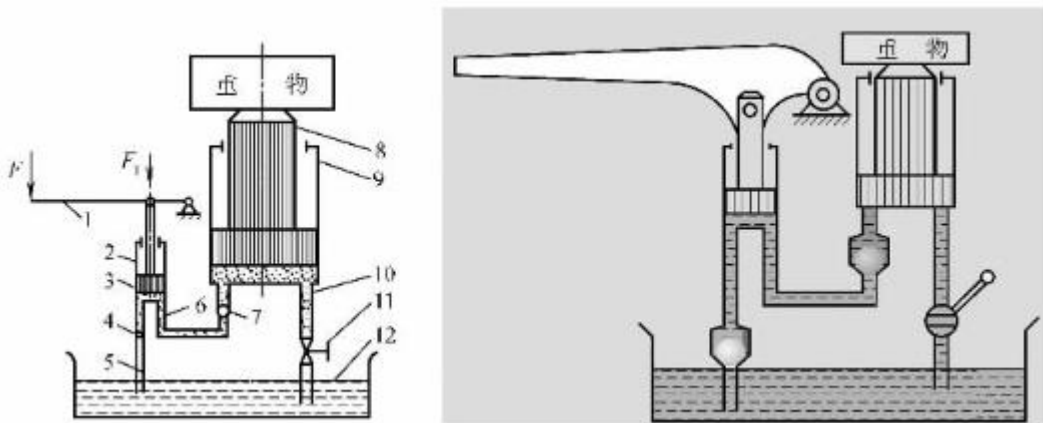


图 10-1 液压千斤顶工作原理图

- 1-杠杆手柄 2-小油缸 3-小活塞 4,7-单向阀 5-吸油管
6-10 管道 8-大活塞 9-大油缸 11-截止阀 12-油箱

通过对上面液压千斤顶工作过程的分析，可以初步了解到液压传动的基本工作原理。液压传动是利用有压力的油液作为传递动力的工作介质。压下杠杆时，小油缸 2 输出压力油，是将机械能转换成油液的压力能，压力油经过管道 6 及单向阀 7，推动大活塞 8 举起重物，是将油液的压力能又转换成机械能。大活塞 8 举升的速度取决于单位时间内流入大油缸 9 中油容积的多少。由此可见，液压传动是一个不同能量的转换过程。

二、液压传动系统的组成

液压千斤顶是一种简单的液压传动装置。下面分析一种驱动机床工作台的液压传动系统。如图 10-2 所示，它由油箱、滤油器、液压泵、溢流阀、开停阀、节流阀、换向阀、液压缸以及连接这些元件的油、管、接头组成。其工作原理如下：液压泵由电动机驱动后，从油箱中吸油。油液经滤油器进入液压泵，油液由泵腔的低压侧吸入，从泵的高压侧输出，在图 10-2 (a) 所示状态下，通过开停阀、节流阀、换向阀进入液压缸左腔，压力油推动活塞连同工作台向右移动。这时，液压缸右腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

将换向阀手柄转换成图 10-2 (b) 所示状态，则压力管中的油将经过开停阀、节流阀和换向阀进入液压缸右腔，压力油推动活塞连同工作台向左移动，并使液压缸左腔的油经换向阀和回油管 6 排回油箱。

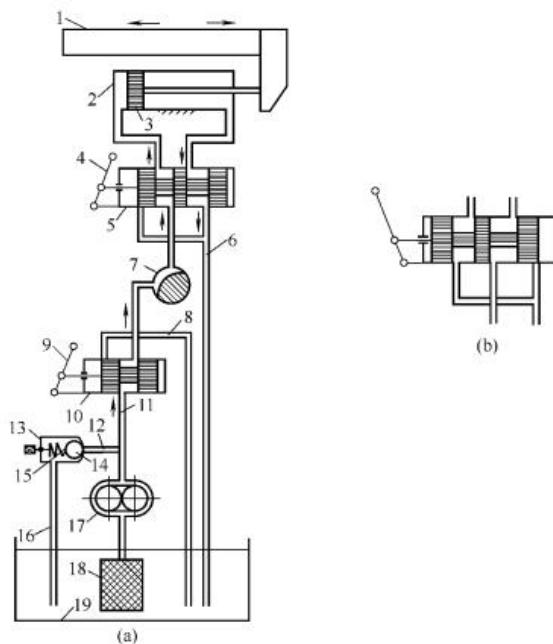


图 10-2 机床工作台液压系统工作原理图、

- 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 16-液压泵 17-滤油器 18-油箱

工作台的移动速度是通过节流阀来调节的。当节流阀开大时，进入液压缸的油量增多，工作台的移动速度增大；当节流阀关小时，进入液压缸的油量减小，工作台的移动速度减小。为了克服移动工作台时所受到的各种阻力，液压缸必须产生一个足够大的推力，这个推力是由液压缸中的油液压力所产生的。要克服的阻力越大，缸中的油液压力越高；反之压力就越低。这种现象正说明了液压传动的一个基本原理——压力决定于负载。从机床工



作台液压系统的工作过程可以看出，一个完整的、能够正常工作的液压系统，应该由以下五个主要部分来组成：

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。其形式有作直线运动的液压缸，有作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它装置，例如油箱，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

传递能量的流体，即液压油等。



第二节 液压传动的优缺点及应用

一、液压传动的优缺点

1. 液压传动的优点

液压传动之所以能得到广泛的应用，是由于它具有以下的主要优点：

- (1) 液压传动借助油管的连接可以方便灵活地布置传动机构，这比机械传动优越。
- (2) 液压传动装置的重量轻、结构紧凑、惯性小。
- (3) 可在大范围内实现无级调速。借助阀或变量泵、变量马达，可以实现无级调速，调速范围可达 1:20000，并可在液压装置运行的过程中进行调速。
- (4) 传递运动均匀平稳，负载变化时速度较稳定。正因为此特点，金属切削机床中的磨床传动现在几乎都采用液压传动。
- (5) 液压装置借助于设置溢流阀等易于实现过载保护，同时液压件能自行润滑，因此使用寿命长。
- (6) 液压传动容易实现自动化、借助于各种控制阀，特别是采用液压控制和电气控制结合使用时，能很容易地实现复杂的自动工作循环，而且可以实现遥控。
- (7) 液压元件已实现了标准化、系列化和通用化，便于设计、制造和推广使用。

2. 液压传动的缺点

- (1) 液压传动是以液压油为工作介质，在相对运动表面间很难避免漏油等因素，同时油液又是可以压缩的，因此使得液压传动不能保证严格的传动比。
- (2) 液压传动对油温的变化比较敏感，温度变化时，液体黏度变化，引起运动特性的变化，使得工作的稳定性受到影响，所以它不宜在温度变化很大的环境条件下工作。
- (3) 为了减少泄漏，以及为了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。
- (4) 液压传动要求有单独的能源，不像电源那样使用方便。
- (5) 液压系统发生故障不易检查和排除。
- (6) 由于采用油管传输压力油，距离越长，沿程压力损失越大，故不宜远距离输送动力。

二、液压传动在各类机械行业中的应用

液压传动在一些机械工业部门的应用情况见表 10-1 所示。

表 10-1 液压传动在各类机械行业中的应用实例

行业名称	应用场所举例
工程机械\起重运输机械	挖掘机、装载机推土机、压路机、铲运机等汽车、叉车、装卸、机械皮带、运输机等
矿山机械	凿岩机、开掘机、开采机、破碎机、提升机、液压支架等
建筑机械\农业机械	打桩机、液压千斤顶、平地机等联合收割机、拖拉机、农具悬挂系统等
冶金机械	电炉炉顶及电极升降机、轧钢机、压力机等
轻工机械	打包机、注塑机、校直机、、硫化机、造纸机等
汽车工业	自卸式汽车、平板车、高空作业车、汽车中的转向器、减振器等
智能机械	折臂式小汽车装卸器、数字式体育锻炼机、模拟驾驶舱、机器人等

第三节 液压传动中的两个重要参数

压力和流量是流体传动及其控制技术中最基本、最重要的两个参数。本章主要讨论三个基本方程式，即液流的连续性方程、伯努利方程、动量方程。

一、压力

(一) 压力的定义及单位

1. 压力的定义

在一般情况下，压力是空间坐标和时间的标量函数。流体中一点的压力又称为该点流体的静压，也即单位面积上所受的法向力称为压力（必须注意，它在物理学中称为压强）。压力通常用 P 表示。

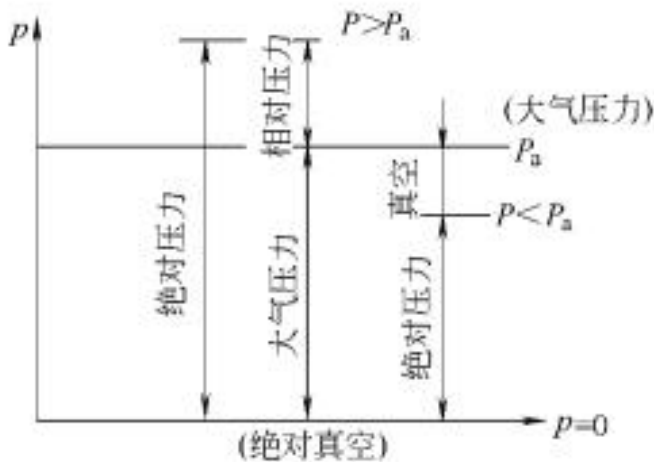
2. 压力的单位

(1) 在国际单位制(SI)中，压力的单位为 N/m^2 ，即 Pa(帕斯卡)，由于 Pa 单位太小，因而常采用 KPa(千帕)和 MPa(兆帕)

$$1\text{MPa} = 1000\text{KPa} = 10^6\text{Pa}$$

(2) 在重力单位制中(工程中常使用)，压力的单位采用 bar(巴)和 Kg/cm^2 (千克力每平方厘米)

$$1\text{bar} = 1.02\text{kgf}/\text{cm}^2 = 0.1\text{Mpa} = 14.5\text{psi} (\text{磅}/\text{平方英寸})$$



3. 压力的表示方法

通常用压力计测得的压力是以大气压力为基准的压力值，称为相对压力或表压力。以 $p=0$ (完全真空) 绝对真空作为基准所表示的压力称为绝对压力。当绝对压力小于大气压力时，大气压力与绝对压力之差称为真空压力或真空度。相对压力是以大气压力作为基准所表示的压力，由测压仪表所测得的压力都是相对压力。因此相对压力=绝对压力-大气压力。绝对压力、表压力和真空度的关系见图 10-3。图 10-3 绝对压力，相对压力及真空度

4. 液压系统中压力

如图 10-4 所示液压泵的出油腔、液压缸左腔以及连接管道组成一个密封容积。液压泵启动后，将油箱中的油吸入这个密封容积中，活塞杆有向右运动的趋势，但因受到负载 R 的作用(包括活塞与缸体之间的摩擦力)阻碍这个密封容积的扩大，于是其中的油液受到压缩，压力就升高。当压力升高到能克服负载 R 时，活塞才能被液压油所推动，此时

$$P = \frac{R}{A}$$

式中 A 为活塞的有效面积。

结论: 液压系统中的压力是由于油液的前面受负载阻力的阻挡，后面受液压泵输出油液的不不断推动而处于一种前阻后推, 的状态下产生的，而压力的大小决定于外负载。当然，液体的自重也能产生压力，但一般较小，因而通常情况下液体自重产生的压力忽略不计。

(二) 液压传动的基本特征

液压传动区别于其它传动方式主要有如下两个特征(由于传动中液体的压力损失相对工作压力比较小，讨论中忽略液体的压力损失和容积损失)

1. 特征一

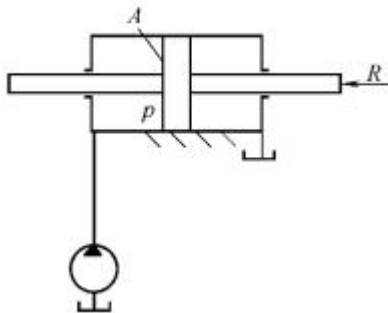


图 10-4 液压系统中压力的形成

力(或力矩)的传递是按照帕斯卡原理(或静压传递原理)进行的，即在密闭容器中的静止液体，由外力作用在液面的压力能等值地传递到液体内部的所有各点。如图 10-5 所示。

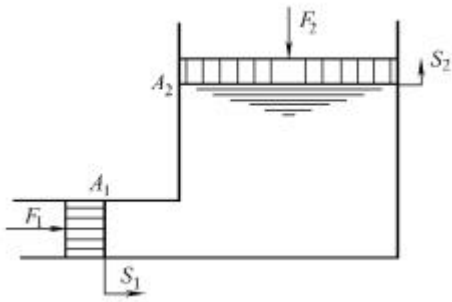


图 10-5 帕斯卡原理示意图

$$P = \frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

P

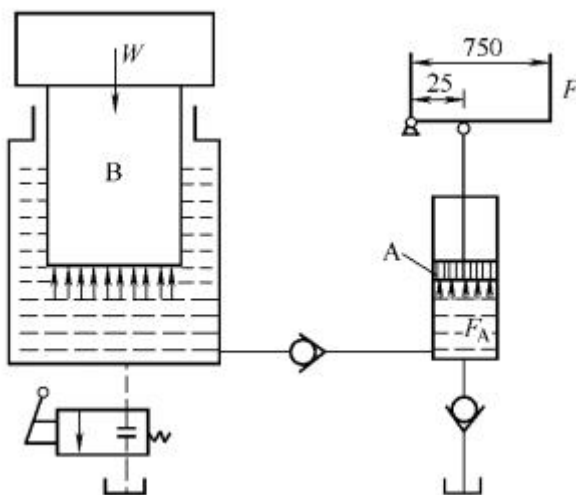
或

$$F_2 = F_1 \frac{A_2}{A_1}$$

当 $A_2 \gg A_1$ 时，有 $F_2 \gg F_1$ 。利用这个原理可以制成力的放大机构如液压千斤顶等。

如果不考虑流体的可压缩性、漏损以及缸体与管路的变形，则由体积流量守恒可得到两活塞移动距离 S_1 、 S_2 移动速度 V_1 和 V_2 。之间的关系为、

$$\frac{S_2}{S_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{A_1}{A_2}$$



$$qv = A_1v_1 = A_2V_2$$

根据帕斯卡原理可以得出以下推论：

① 活塞的推力等于油压力与活塞面积的乘积。

② 油压力 p 由外负荷建立，由式、’、(可知、，当 $R=0$

时， $P=0$ 。

2. 特征二

速度或转速的传递按，容积变化相等，

原则进行。这就是有人把液压传动叫做，容积式液力

传动，

图10-5 液压泵的工作原理

A-活塞 B-柱塞 C-重物



的原因。如果能设法调节进入缸体的流量，即可调节活塞的移动速度，也就是流体传动中能够实现无级调速。

例^[10-1]如图 10-5 为 49 的液压 NK 千斤顶，活塞 A 的直径. A=1.3cm，柱塞 B 的直径. B=3.4cm，杠杆长度如图图所示，问杠杆段应加多大力才能起重 49KN 的重物？

解：由于压力决定于负载，若起重 49KN 重物所需油液压力

$$P = \frac{W}{A_B} = \frac{W}{\frac{\pi D_B^2}{4}} = \frac{49 \times 10^3}{\frac{\pi \times 3.4^2 \times 10^{-4}}{4}} = 53.9 \text{ (MPa)}$$

作用到活塞 A 上的力

$$F_A = pA_A = P \frac{\pi D_A^2}{4} = 53.9 \times 10^6 \times \frac{\pi}{4} \times 1.3^2 \times 10^{-4} = 7.154 \text{ (KN)}$$

$$\text{在杠杆端应施加的力 } F = \frac{F_A \times 25}{750} = \frac{7.154 \times 25}{750} = 238 \text{ (N)}$$

二、流量

(一) 定义与单位

1. 理想液体与定常流动在理想液体（不考虑液体的黏性、压缩）液体流动时，可以将流动液体中空间任一点上质点的运动参数，例如压力 p 流速 v 及密度 ρ 表示为空间坐标和时间的函数，例如：

$$p = p(x, y, z, t) \quad (2-6)$$

$$v = v(x, y, z, t) \quad (2-7)$$

$$\rho = \rho(x, y, z, t) \quad (2-8)$$

如果空间上的运动参数 p、v 及 ρ 在不同的时间内都有确定的值，即它们只随空间点坐标的变化而变化，不随时间 t 变化，对液体的这种运动称为定常流动或恒定流动。但只要有一个运动参数随时间而变化，则就是非定常流动或非恒定流动。

定常流动时，

$$\frac{\partial p}{\partial t} = 0, \frac{\partial v}{\partial t} = 0, \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2-9)$$

在流体的运动参数中，只要有一个运动参数随时间而变化，液体的运动就是非定常流动或非恒定流动。

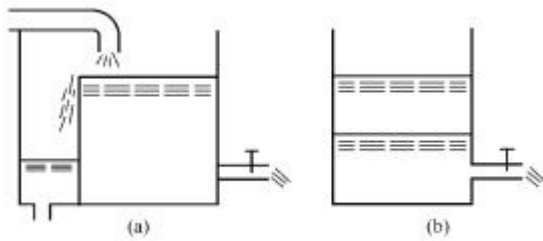


图 10-6 恒定出流与非恒定出流
(a) 恒定出流 (b) 非恒定出流

在图 10-6 (a) 中，对容器出流的流量给予补偿，使其液面高度不变，这样，容器中各点的液体运动参数都不随时间而变，这就是定常流动。在图 10-6 (b) 中，不对容器的出流给予流量补偿，则容器中各点的液体运动参数将随时间而改变，例如随着时间的消逝，液面高度逐渐减低，因此，这种流动为非定常流动。

2. 迹线、流线、流束和通流截面

(1) 迹线：迹线是流场中液体运动的轨迹线。

(2) 流线：流线是流场中液体质点在某一瞬间运动状态的一条空间曲线。如图 10-7 (a) 所示。

(3) 流管：某一瞬时 t 在流场中画一封闭曲线，经过曲线的每一点作流线，由这些流线组成的表面称流管。

(4) 流束：充满在流管内的流线的总体，称为流束。如图 10-7 (b) 所示。

(5) 通流截面：垂直于流束的截面称为通流截面。如图 10-7 (b)。

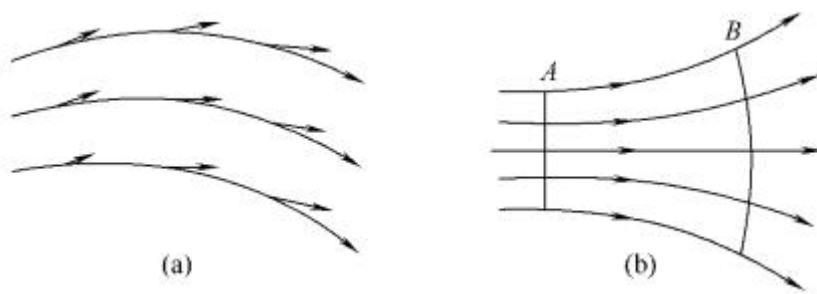


图10-7流线和流束

(a) 流线 (b) 流束

3. 流量和平均流速、



(1) 流量 单位时间内通过通流截面的液体的体积称为流量, 用 q 表示, 即 $q = \frac{V}{\Delta t}$, 体积流量的单位是 M^3/s , 常用单位为 L/Min(升/分)。
对微小流束, 通过 A 上的流量为 q , 其表达式为:

$$q = v \cdot A$$

$$q = \int_A v dA$$

(2) 平均流速 在实际液体流动中, 由于黏性摩擦力的作用, 通流截面上流速 u 的分布规律难以确定, 因此引入平均流速的概念, 即认为通流截面上各点的流速均为平均流速, 用 v 来表示, 则通过通流截面的流量就等于平均流速乘以通流截面积。令此流量与上述实际流量相等, 得:

$$q = \int_A v dA = vA$$

则平均流速为 v :

$$v = \frac{q}{A}$$

4. 流量连续性原理

连续性方程是质量守恒定律应用于运动流体的数学表达式。如图 10-8 所示, 当流体流过某一流管的 1-1、2-2 截面, 假定液体不可压缩, 则液体在同一单位时间内流过同一通道、两个不同通流截面的液体体积应相等, 即 $v_1 = v_2$, 常量

v_1 、 v_2 分别为截面 1、2 处的平均流速。

A_1 、 A_2 分别为通流截面 1、2 处的面积。

上式表明: 流速和通流面积成反比, 内径大即 d 大, 则 A 大, v 小。反之, 内径小即 d 小,

则 A 小, A 大。

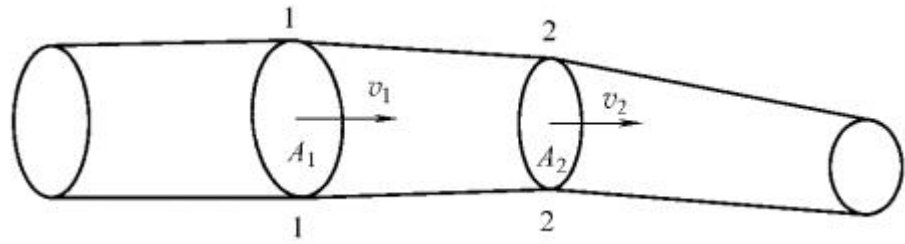


图 10-8 液流的连续性原理

[思考与练习题]

- 1 什么是液压传动？简述其工作原理。
- 2 液压系统由哪几部分组成？试说明各部分的作用。
- 3 试比较液压、气动与机械传动。
- 4 液体压力如何形成？常用的压力单位是什么？
- 5 什么叫大气压力、相对压力、绝对压力和真空度？它们之间有什么关系？液压系统中压力指的是什么压力？
- 6 某液压系统压力表的读数为 $49 \times 10\text{Pa}$ 这是什么压力？它的绝对压力又是多少？



[本章小结]

1. 液压传动的定义及其特点。
2. 液压系统的五大组成部分及其作用。
3. 液压传动的优缺点。
4. 液压传动中的两个重要参数压力、流量的定义、单位、表示方法及其特征。

参考文献

1. 官忠范 主编. 液压传动系统. 机械工业出版社, 1981
2. 周士昌 主编. 液压系统设计图集. 机械工业出版社, 2004
3. 路甬祥 主编. 液压气动技术手册. 机械工业出版社, 2002
4. 何存兴 主编. 液压元件. 北京工业大学出版社, 1982
5. 张磊, 陈榕林 编. 实用液压技术300题. 机械工业出版社, 1988
6. 陈榕林, 张磊 主编. 液压技术与应用. 电子工业出版社, 2002
7. 贾铭新 主编. 液压传动与控制. 国防工业出版社, 2001
8. 徐永生 主编. 液压与气动. 高等教育出版社, 2001
9. 阎祥安, 焦秀稳 编. 液压传动与控制习题集. 天津大学出版社, 1990
10. 盛敬超 编. 液压流体力学. 机械工业出版社, 1980
11. 丁树模 编. 液压传动. 第2版机械工业出版社, 1997
12. 姜佩东 主编. 液压与气动技术. 高等教育出版社, 2004
13. 徐永生 主编. 液压与气动. 高等教育出版社, 2003
14. 左健民 主编. 液压与气压传动. 机械工业出版社, 1993
15. 许福玲, 陈尧明 主编. 液压与气压传动. 机械工业出版社, 2002
16. 袁承训 主编. 液压与气压传动. 第二版 机械工业出版社, 2003
17. FESTO 液压培训教材
18. 周士昌 主编. 液压气压系统设计运行禁忌470例. 机械工业出版社, 2002



欣旺达电子股份有限公司
Sunwoda Electronic Co., Ltd.

地址:深圳市宝安区石岩街道石龙社区颐和路2号欣旺达新能源产业园

电话:86-755-2951 6888 传真:86-755-2951 6999

网址:www.sunwoda.com