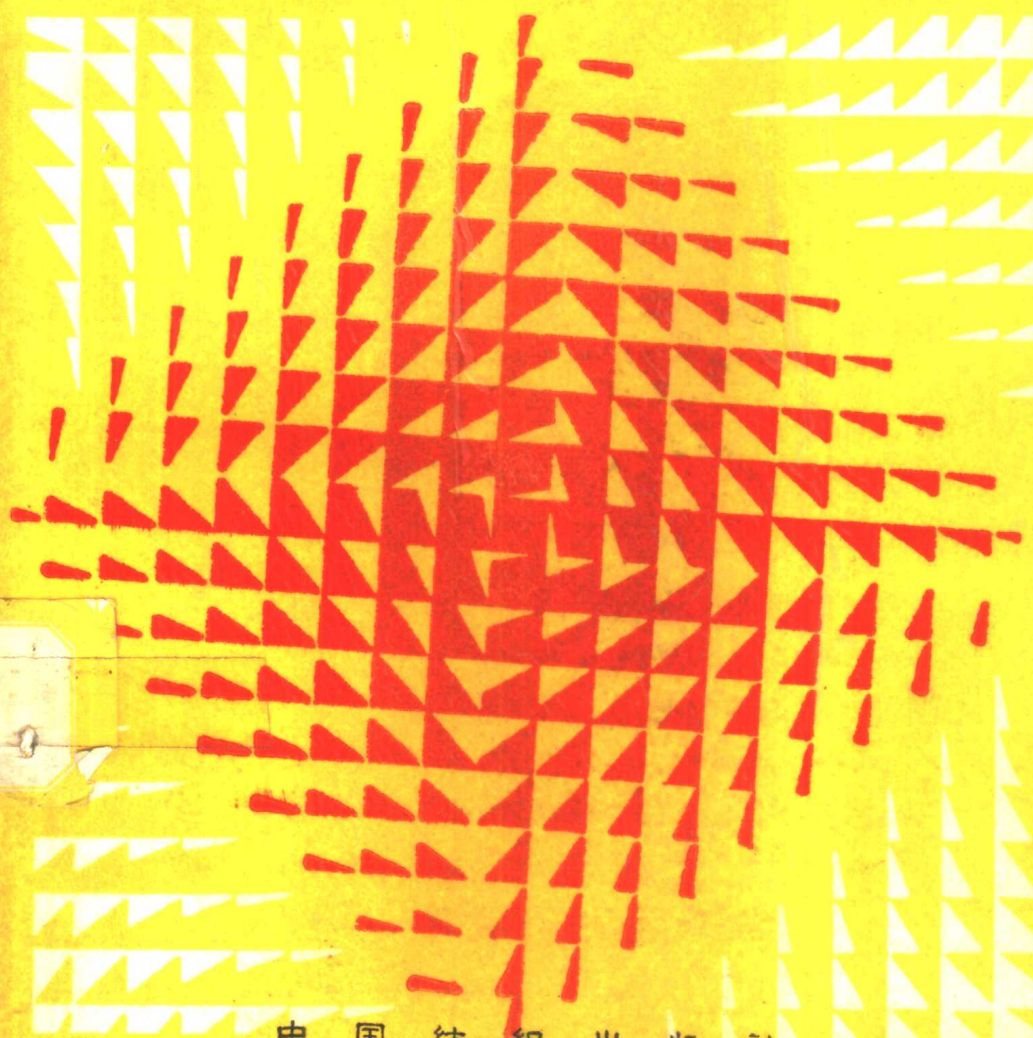


高等纺织院校教材

气动与电动执行器

高芸 主编



中国纺织出版社

高等纺织院校教材

气动与电动执行器



中国纺织出版社

内 容 提 要

本书主要阐述各种类型气动与电动执行器的结构特点、工作原理、特性分析及选择计算等方面的内容。特别介绍了关于调节阀流量系数C值及公称通径计算的新方法。本书可供生产过程自动化等专业学生学习,也可供自动化专业设计人员及有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

气动与电动执行器/高芸主编. —北京:中国纺织出版社, 1995

高等纺织院校教材

ISBN 7-5064-1151-2/TP·0006 (课)

I.气… II.高… III.电动执行机构:气动执行机构-执行器-高等学校-教材 IV.TP215

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第12300号

中国纺织出版社出版发行

北京东直门南大街4号

邮政编码: 100027 电话: 010—4168226

东兴印刷厂印刷 各地新华书店经销

95年12月第一版 95年12月第一次印刷

开本: 850×1168毫米 1/32 印张: 6.875 插页: 1

字数: 177 千字 印数: 1~1000册

定价: 18.00 元

前 言

执行器作为过程控制系统的终端部件，其重要性已日益被人们重视。随着生产自动化水平的提高，它已被广泛应用于冶金、电力、石油、化工，轻纺等工业生产中。正确地选择和使用执行器，会直接影响调节系统的调节品质和经济合理性。随着工业自动化的发展，对执行器的要求也越来越高，执行器形式中最广泛使用的是调节阀，因而新的调节阀不断问世，其应用理论和计算技术也发展得很快。国外早已开始采用流量系数计算阀径的新方法，调节阀公称通径的计算也更加精确合理。鉴于目前公开出版的调节仪表教材中，执行器这部分内容偏少，为满足教学需要，我们搜集了国内外的较新资料，编写了这本《气动与电动执行器》教材。书中系统、深入地介绍了各种类型气动与电动执行器的工作原理、结构特点、特性分析及选择计算等方面的内容，特别是介绍了调节阀流量系数和公称通径计算的新方法。本书可作为高等院校生产过程自动化等专业的教材，也可供有关工程技术人员参考。

本书是在天津纺织工学院高芸编写的“自动执行器”讲义的基础上，结合其本人多年教学经验，并根据国内外近期的发展状况，加以补充、修改而成。全书由高芸编写第一章至第八章，郭洪顺参加了第九、十章的修改编写工作。中国纺织大学王士杰教授主审，北京服装学院吴锡祺副教授参加审定。

在此书的编写过程中，得到淳于怀太、陈连义等同志及有关单位的热情支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限，书中如有错误和不妥之处，欢迎读者批评指正。

作 者

· AB23/15

目 录

第一章 概论.....	(1)
一、执行器在自动调节系统中的地位.....	(1)
二、执行器的分类及特点.....	(3)
第二章 气动执行器的构成原理.....	(4)
第一节 气动执行器的组成.....	(4)
第二节 气动执行机构.....	(5)
一、气动薄膜执行机构.....	(5)
二、气动活塞执行机构.....	(8)
三、长行程执行机构.....	(10)
第三节 阀.....	(12)
一、阀的工作原理.....	(12)
二、阀的结构形式.....	(15)
三、阀与执行机构的组合形式.....	(35)
第三章 气动执行机构的特性及计算.....	(37)
第一节 气动执行机构的位移特性.....	(37)
一、静态特性.....	(37)
二、动态特性.....	(37)
第二节 阀不平衡力和不平衡力矩的计算.....	(40)
一、阀不平衡力和不平衡力矩的产生.....	(40)
二、直通单座阀的不平衡力.....	(41)
三、蝶阀的不平衡力矩.....	(44)
第三节 气动执行机构的输出力和输出力矩.....	(45)
一、薄膜执行机构的输出力.....	(46)
二、活塞执行机构的输出力.....	(51)

三、长行程执行机构的输出力矩.....	(52)
第四节 阀允许压差的计算.....	(54)
一、阀允许压差的基本概念.....	(54)
二、直通单座阀的允许压差计算.....	(55)
三、蝶阀的允许压差计算.....	(57)
第五节 气动执行机构刚度计算和阀的稳定性分析.....	(60)
一、执行机构刚度及计算.....	(60)
二、气动调节阀的稳定性分析.....	(61)
第四章 调节阀的特性	(65)
第一节 调节阀的可调比.....	(65)
一、固有可调比.....	(65)
二、工作可调比.....	(66)
第二节 调节阀的流量特性.....	(69)
一、阀的固有流量特性.....	(70)
二、阀的工作流量特性.....	(75)
第五章 气动执行器附件	(82)
第一节 气动元件与组件.....	(82)
一、气阻.....	(82)
二、气容.....	(85)
三、气动控制元件.....	(86)
四、气动功率放大器.....	(88)
第二节 阀门定位器.....	(92)
一、用途.....	(92)
二、与薄膜执行机构配套的气动阀门定位器.....	(94)
三、与薄膜执行机构配套的电-气阀门定位器.....	(103)
四、与活塞执行机构配套的气动阀门定位器.....	(108)
五、与活塞执行机构配套的电-气阀门定位器.....	(109)
第三节 手轮机构.....	(110)
第六章 气动执行器的选择	(112)

第一节 阀的结构形式及流量特性选择	(112)
一、结构形式的选择	(112)
二、流量特性的选择	(114)
第二节 执行机构及气开、气闭形式的选择	(119)
一、执行机构类型和规格的选择	(119)
二、气动调节阀气开、气闭形式的选择	(120)
第三节 气动执行器的发展动向	(121)
第七章 调节阀流量系数和公称通径计算	(123)
第一节 调节阀流量系数及其计算	(123)
一、流量系数C值的定义	(123)
二、阻塞流和压力恢复系数	(125)
三、液体的C值计算	(127)
四、气体的C值计算	(134)
五、蒸汽C值的计算	(141)
六、两相流的C值计算	(142)
第二节 调节阀公称通径的计算	(150)
一、计算步骤	(150)
二、计算程序及计算实例	(158)
第八章 气动调节阀的性能测试、安装与维修	(164)
第一节 气动调节阀的性能测试	(164)
第二节 气动调节阀的安装与维修	(167)
一、安装	(167)
二、维修	(169)
第九章 电动执行器的构成	(170)
第一节 概述	(170)
一、电动执行器的用途和分类	(170)
二、电动执行器与调节仪表之间的信号联系	(171)
第二节 电动执行机构的构成原理	(171)
一、电动执行机构的分类	(171)

二、电动执行机构的主要技术要求.....	(174)
三、电动执行机构的组成和工作原理.....	(174)
第十章 电动执行机构	(177)
第一节 角行程电动执行机构.....	(177)
一、执行机构.....	(177)
二、伺服放大器.....	(187)
三、DKJ 型电动执行机构整机线路	(196)
第二节 直行程电动执行机构.....	(198)
第三节 电动执行机构的选用.....	(200)
一、直行程电动执行机构的推力选择.....	(201)
二、角行程电动执行机构选用与调整.....	(201)
习题.....	(203)
附录.....	(207)
参考文献.....	(212)

第一章 概 论

一、执行器在自动调节系统中的地位

在现代化生产过程的控制中，执行器起着十分重要的作用，执行器是自动调节系统中不可缺少的组成部分。它在现代化生产过程控制中的重要作用，可由比较图1-1和图1-2所示的系统得知。

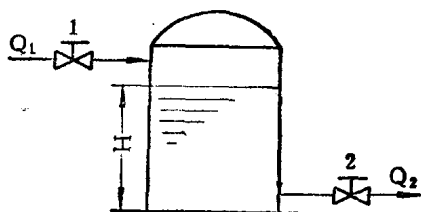


图1-1 贮罐液位调节对象示意图

图1-1所示为一个贮罐，液体物料从进口阀1流入，从出口阀2流出。流入量以 Q_1 表示，流出量以 Q_2 表示。由于生产的需要，要求贮罐内液位稳定地维持在一定高度 H_0 上，这需要通过调节流入量或流出量来达到，单靠手动操纵阀1、2很难达到此目的。为此在贮罐上安装了变送器、调节器和显示仪表，并将进口阀1换成调节阀，就可构成一个简单的液位调节系统。如图1-2所示。

假定在稳定状态下，调节阀1稳定在某一开度，使流出量 Q_2 等于流入量 Q_1 ，这时贮罐内液位恰好在所需要的高度 H_0 上。如果由于工况的变化， Q_2 增加了，此时 Q_2 大于 Q_1 ，贮罐内液位就要下降。液位变送器将贮罐内的液位进行测量并转换成测量信号送至调节器和显示仪表。调节器把液位测量信号和给定信号比较，并根据比较结果所得到的偏差信号，按一定规律发出相应的控制信号给执行器——调节阀。调节阀则根据控制信号大小相应

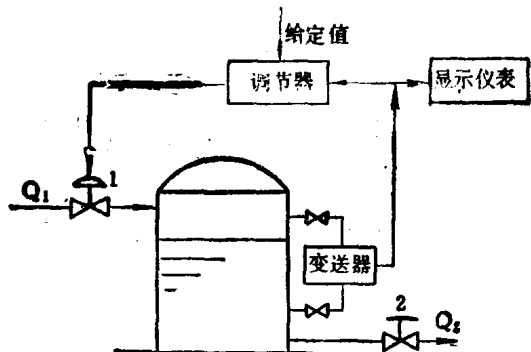


图1-2 贮罐液位自动调节原理图

1—自动调节阀 2—出料阀

动作，适当增大开度，使贮罐的流入量增加，因而使液位升高。经反复调节，直至液位又回到给定值，系统重新稳定。显示仪表可以指示或记录液位的变化情况。

从上述液位调节系统的例子可以看出，自动调节系统是由以下几个部分组成的：被调对象（如贮罐）、变送器、调节器、显示仪表和执行器（如调节阀）等。因此，执行器是自动调节系统中不可缺少的重要组成部分。它的作用是接受调节器送来的控制信号，自动地改变操纵量（如调节介质流量、热量等），达到对被调参数（如温度、压力、液位等）进行调节的目的。因此，执行器是自动调节系统的终端控制部件，而调节阀是执行器中最广泛使用的形式。人们往往把它比喻为自动调节系统的“手脚”。

调节阀是由推动部分（执行机构）和调节部分（阀）组成的。由于阀直接安装在工艺管线上，使用条件一般比较恶劣，如高压、高温、深度冷冻、强腐蚀、易燃、易爆、易渗漏、易结晶、高粘度甚至有毒等场合，因此，它的性能好坏将直接影响调节系统的正常工作。同时，它的特性（包括执行机构和阀两部分）也与调节系统的调节品质密切相关。执行机构的特性是由执行机构本身以及配用的阀门定位器与执行机构的组合决定的，同

时还与实际工作情况有关。阀的特性主要指流量特性，取决于阀的结构形式、口径（即公称通径）大小、阀前后压力以及流体性质等。因此，调节阀的正确选用，包括执行机构类型、规格及阀的结构形式、流量特性、公称通径等的合理选择、计算等至关重要，已日益为人们所重视。调节阀的结构形式在不断地改进，调节阀的应用理论和计算技术也在不断发展。

二、执行器的分类及特点

执行器根据工作能源不同可分为三大类：气动执行器、电动执行器和液动执行器。

气动执行器（习惯上指气动调节阀）是以压缩空气为能源的执行器，它的主要特点是：结构简单、动作可靠、性能稳定、故障率低、价格便宜、维修方便、本质防爆、容易做成大功率等。它不仅能与气动调节仪表配套使用，而且通过电—气转换器或电—气阀门定位器，还能与电动调节仪表或控制计算机配套使用。与电动执行器相比，它性能优越得多，因此，广泛用于化工、石油、冶金、电力、纺织等工业部门。

电动执行器是以电为动力，其主要特点是：（1）由于工作能源取用方便，不需增添专用设备；（2）信号传送速度快，传送距离远，便于集中控制；（3）停电时电动执行器保持原位不动，不影响主设备的安全；（4）灵敏度和精度均较高；（5）与电动调节仪表配合方便，安装接线简单。缺点是：体积较大，价格较高，结构比较复杂，维修不方便，平均故障率比气动执行器高，且防爆性能不如气动执行器，适用于防爆要求不高的场合。

由于电动执行器具有上述缺点，使得它的应用远不如气动执行器广泛。但由于气动执行器工作时须配备专门的供气系统，故在使用数量不太多的场合，采用电动执行器较为方便。在目前的实际应用中，气动执行器的使用数量约占90%。

液动执行器使用较少。本书仅介绍气动执行器和电动执行器。

第二章 气动执行器的构成原理

第一节 气动执行器的组成

气动执行器根据不同的结构原理和使用场合,可分为气动调节阀、气动马达和气动机械手等。其中气动调节阀是气动执行器中的主要产品,它广泛用于生产过程中流体介质的流量控制,实现对被调参数的调节。由于气动马达和气动机械手尚在发展中,故在此仅介绍气动调节阀。

气动调节阀接受调节仪表送来的气压信号(标准信号为20~100kPa),控制阀门的开度,改变流过管道中介质的流量,实现对被调参数的调节。

气动调节阀由执行机构和阀两部分构成。根据需要还可以配上阀门定位器和手轮机构等附件。

气动调节阀的品种很多,各种气动执行机构可以与各种阀组合成多种类型的气动调节阀。其典型产品为气动薄膜调节阀。其外形如图2-1所示。

图2-1中1为气动执行机构,2为阀。气动执行机构是气动调节阀的推动部分,它在控制信号作用下产生相应的推力,通过阀杆使阀芯产生相应的位移,改变阀的开度。

阀是气动调节阀的调节部分,亦称调节机构,它与调节介质直接接触,在执行机构的推动下,改变阀芯与阀座间的流通面积,使流过的介质流量变化,从而达到自动调节

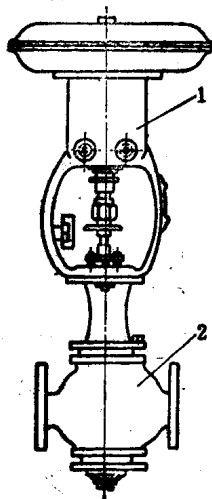


图2-1 气动薄膜调节阀外形图

的目的。

一般来说，阀可与气动执行机构配合构成气动调节阀，也可与电动执行机构配合构成电动调节阀。

在某些特殊场合，为了保证气动调节阀正常工作，提高调节质量，还需配备一定的辅助装置。常用的有阀门定位器和手轮机构等。阀门定位器与气动执行器配套使用，利用阀位负反馈改善执行器的性能，使执行器按调节器的控制信号实现准确定位。手轮机构可认为是旁路的一种形式。当调节系统失灵，如停电、气源中断、调节器或执行机构发生故障时，通过附装在调节阀上的手轮机构，用手动操作阀门，从而保证在系统修复之前，生产仍能正常进行。以手轮机构代替旁路，可以省去调节阀两旁的切断阀，缩短安装管路，节省投资。但当阀本身出现故障时，手轮机构无法实现手动操作，这时必须由旁路阀进行手动操作。一般当调节阀的公称通径在80mm以上时，可酌情考虑采用手轮机构代替旁路。

第二节 气动执行机构

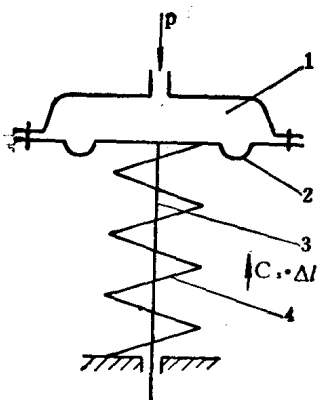
气动执行机构有多种结构形式，每种形式都有特定的优点，供不同条件下使用。目前，我国生产的气动执行机构有四种形式：薄膜执行机构、活塞执行机构、长行程执行机构和滚动膜片执行机构。在实际应用中广泛采用的是薄膜执行机构和活塞执行机构。

一、气动薄膜执行机构

薄膜执行机构是一种最常用的气动执行机构。它的结构简单、动作可靠、维护方便、价格便宜，因而得到广泛应用。按动作方式可分为正作用式和反作用式两种。

1. 正作用式薄膜执行机构

(1) 动作原理：如图2-2所示。当信号压力 p 通入薄膜气室1



时，在波纹膜片2上产生一个推力，使推杆3向下移，将压缩弹簧4压缩，直到弹簧反作用力与信号压力在波纹膜片上的推力相平衡为止。其平衡方程式为：

$$\Delta p \cdot A_s = C_s \cdot \Delta l \quad (2-1)$$

$$\Delta l = \frac{A_s}{C_s} \Delta p$$

$$\Delta l = \frac{A_s}{C_s} (p - p_0) \quad (2-2)$$

图2-2 正作用薄膜执行机构动作原理图
式中： Δp ——薄膜气室的信号压力变化量；

Δl ——推杆行程的变化量；

A_s ——波纹膜片的有效面积；

C_s ——压缩弹簧刚度；

p ——进入薄膜气室的信号压力；

p_0 ——对应于行程起点的信号压力。

从式(2-2)可知，当执行机构的规格确定后，即波纹膜片有效面积和压缩弹簧刚度确定后，执行机构推杆的行程与信号压力成正比。可见，气动薄膜执行机构的输出特性是比例式的。

当信号压力增加时，凡执行机构的推杆向下动作（垂直正立安装）的称为正作用式。上面介绍的就是正作用式执行机构。

(2) 结构：正作用式薄膜执行机构的结构如图2-3所示。它由上盖1、波纹膜片2、下盖3、推杆4、支架5、压缩弹簧6、弹簧座7、调节件8和行程标尺9等零部件组成。膜片是薄膜执行机构的关键零件，做成波纹形状，可使膜片有效面积基本保持不变，这样可提高薄膜执行机构特性的线性度。膜片材料采用丁腈橡胶夹锦纶织物，膜片的有效面积越大，执行机构产生的推力也越大，以适应各种阀的需要。膜片下方装有压缩弹簧，它的下端安放在

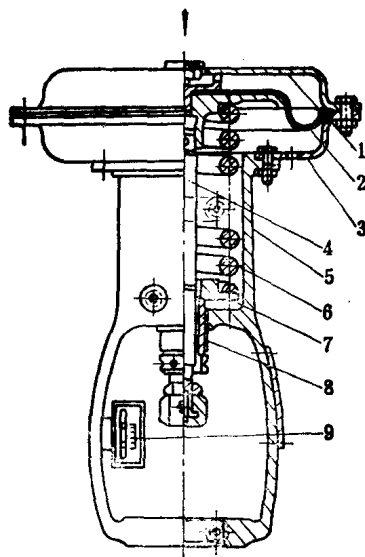


图2-3 正作用薄膜执行机构结构图

弹簧座上。调节件用来调整压缩弹簧的预紧量，以改变信号压力的起始值。压缩弹簧也是关键零件，在全行程范围内其刚度应保持不变，以提高薄膜执行机构特性的线性度。上、下盖由灰铸铁

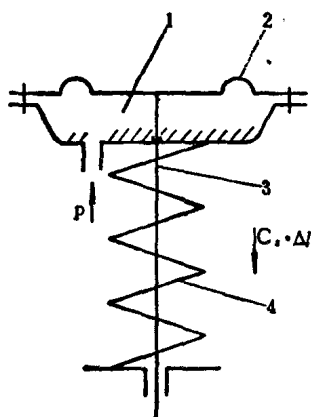


图2-4 反作用式薄膜执行机构动作原理图

制成，也可用钢板冲压而成。它们与波纹膜片构成两个薄膜气室。正作用薄膜执行机构的薄膜上方为压力密封气室，信号压力 p 进入此气室。支架由灰铸铁制成，其正面的两个螺孔用于安装阀门定位器，反面的四个螺孔用于安装手轮机构。推杆与膜片固定在一起，可随膜片一起位移。行程标尺用于指示执行机构推杆的行程。连接螺母用于连接推杆与阀的阀杆，阀杆上装有行程指针，随之一起移动，在行程标尺上指示出阀杆行程。气动

薄膜执行机构的全行程规格有10、16、25、40、60、100mm等。当信号压力在全范围内变化时，推杆走完全行程。

2. 反作用式薄膜执行机构

(1) 动作原理：当信号压力增加时，气动执行机构的推杆向上动作的称为反作用式执行机构。其动作原理如图2-4所示。信号压力进入波纹膜片下方气室1，随着信号压力增大，波纹膜片2连同推杆3一起向上移动。压缩弹簧4的上端固定，而下端随推杆一起向上移动，使弹簧压缩。

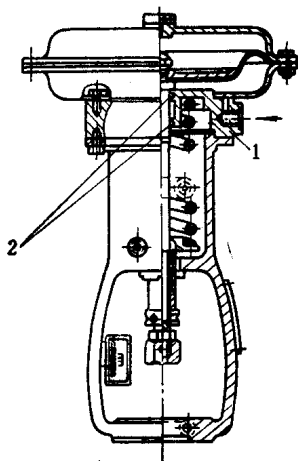


图2-5 反作用式薄膜执行机构结构图

(2) 结构：如图2-5所示，它与正作用式结构基本相同，所不同的是，在正作用式执行机构的支架与下盖之间，增加一个装有O形密封环2的填料块1，使下方气室构成密封气室，并改变弹簧的安装方案。信号压力进入该气室，使推杆向上移动时弹簧被压缩。

二、气动活塞执行机构

薄膜执行机构尽管具有结构简单、适应性强、价格便宜等优点，但由于膜片能承受的壓力较低，一般信号压力为20~100kPa，最高压力不大于250kPa。为了得到较大的输出推力就要求使用较大的膜片面积，构成较大的膜片盒（由上、下盖构成）。对于高压差、高静压和介质产生的反力大的阀，如使用气动薄膜执行机构，就必须配上庞大的膜片盒，这样对中、小口径的阀来说，显得极不相称，变得“头重脚轻”，且占用空间大，又不经济。而活塞式执行机构由于气缸允许操作压力较大，最大可达500kPa，因此具有很大的输出力，属于强力气动执行机构。这种机构按动作方式可分为两位动作和比例动作机构两种。

1. 两位动作式活塞执行机构

(1) 结构：如图2-6所示。

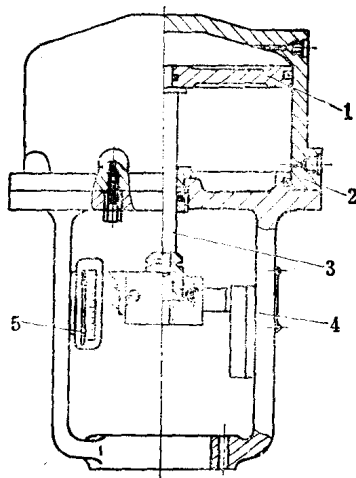


图2-6 两位动作式活塞执行机构结构图

1—活塞 2—气缸 3—推杆 4—支架 5—行程标尺

气缸是活塞执行机构的主要部件，通常由铸铁或钢材制成，比薄膜执行机构的膜片盒能承受更高的压力，因此，较小直径就能送出更大的力。气缸与活塞之间采用O形橡胶密封环密封。该密封方式具有结构简单、密封性能好，摩擦力小，寿命长等优点。

(2) 动作原理：

气缸2内活塞1的一侧，可通入固定的操作压力 p_1 ，另一侧通入变化的操作压力 p_2 。也可两侧都通入变化的操作压力 p_1 、 p_2 。根据活塞两侧的压差来完成两位动作。活塞由高压侧推向低压侧，使推杆由一个位置走到另一个位置。执行机构的全行程一般为10~100mm。它适用于两位控制系统。

2. 比例动作式活塞执行机构 所谓比例动作就是执行机构的信号压力与推杆位移成正比关系，如信号压力由20kPa增大到100kPa时，推杆也相应成比例地由零走至全行程。比例动作又分