

工业自动化仪表系列丛书

执行器 及其应用

付敬奇 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



工业自动化仪表系列丛书

执行器及其应用

付敬奇 主编



机械工业出版社

本书是工业自动化仪表系列丛书之一。执行器在工业自动控制过程中代替人工进行需要的操作,不但降低了人们的劳动强度,也保证了人身的安全,而且还提高了生产效率。本书比较全面地介绍了执行器的发展状况以及阀门的结构、选型和维护,并重点阐述了气动、液动、电动执行机构以及电磁阀的组成、结构原理、特性、分类和选择方法等。

全书共分5章,第1章为执行器的发展概况;第2章为阀门的流量特性及执行机构分析;第3章为气动、液动执行机构的结构、原理、特性及选择;第4章为电动执行器的特点及发展趋势;第5章为电磁阀的特点选型及维护。

本书可供从事工业自动化仪表领域的工程技术人员和大中专院校相关专业的师生参考,也可作为相关专业技术人员的培训教材。

图书在版编目(CIP)数据

执行器及其应用/付敬奇主编. —北京:机械工业出版社, 2009.2

(工业自动化仪表系列丛书)

ISBN 978-7-111-26130-8

I. 执… II. 付… III. 执行器 IV. TH86

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第010386号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:张沪光 版式设计:霍永明 责任校对:申春香

封面设计:姚毅 责任印制:乔宇

北京四季青印刷厂印刷 (三河市兴旺装订厂装订)

2009年4月第1版第1次印刷

140mm×203mm·9.25印张·246千字

0 001—3 000册

标准书号:ISBN 978-7-111-26130-8

定价:26.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
销售服务热线电话:(010)68326294

购书热线电话:(010)88379639 88379641 88379643

编辑热线电话:(010)88379767

封面无防伪标均为盗版

图书目录

“工业自动化仪表系列丛书”

编辑委员会

主任委员 张继培

副主任委员 史美纪(常务) 吴钦炜

王璐璐 罗命钧 秦起佑

张沪光 张永江

委员 薛生虎 杜水友 梁国伟

蔡武昌 李竞武 陈晓竹

彭瑜 张雪申 刘士荣

俞金寿 刘建侯 徐建平

凌志浩 肖鹏 付敬奇

孙自强

编写说明

工业自动化仪表是国民经济各部门重要的现代技术装备之一，广泛用于冶金、电力、石油、化工、轻工、纺织、交通、建筑、食品、医药、农业、环保以及日常生活等各个领域。

工业自动化仪表是对物质世界的信息进行自动测量与控制的基础手段和设备，是信息产业的源头和组成部分。

为了认真总结国内外工业自动化仪表的先进经验，提高我国工业自动化仪表的科技、生产、应用水平，经中国仪器仪表学会、上海工业自动化仪表研究所、机械工业信息研究院和中国仪器仪表学会过程检测控制仪表分会共同研究，决定组织编写、出版“工业自动化仪表系列丛书”。

目前，首先陆续出版以下 15 种：《温度测量技术及仪表》、《压力测量技术及仪表》、《流量测量技术及仪表》、《物位测量技术及仪表》、《物性分析技术及仪表》、《显示调节技术及仪表》、《可编程序控制器及其应用》、《执行器及其应用》、《过程控制系统和应用》、《仪表可靠性工程和环境适应性技术》、《仪表本安防爆技术》、《集散控制系统及其应用》、《工业控制计算机系统及其应用》、《现场总线与工业以太网》和《过程分析技术及仪表》。

本系列丛书内容完整，系列齐全，基本上反映了工业自动化仪表技术与产品的全貌；文字力求深入浅出，通俗易懂。系列丛书既可作为从事工业自动化仪表专业的工程技术人员及广大用户的参考书籍，也可作为大专院校教材及科研、设计、制造、使用单位工程技术人员的培训教材。

编写出版“工业自动化仪表系列丛书”，对于我们是一种尝试，难免存在不少问题和缺点，希望广大读者给予支持和帮助，并欢迎大家批评指正。

“工业自动化仪表系列丛书”编辑委员会

前言

自动控制技术已在国民经济的许多领域中得到了广泛的应用。自动控制系统一般都是由传感器、变送器、调节器、执行器和受控对象等所组成，其中执行器总是不可缺少的。在工业自动控制过程中，执行器的动作代替了人工的操作，不但降低了人们的劳动强度，保证了人身的安全，而且提高了生产效率。因此，如果把传感器比喻成人的“感觉器官”，那么调节器就是人的“大脑”，执行器在自动控制系统中的作用就是相当于人的“四肢”，它接受调节器的控制信号，改变操纵变量，使生产过程按预定要求正常执行。

执行器在国民经济体系中应用的比例越来越大。国内市场需求连续增长，推动了行业经济效益的有效增长。企业重视技术改造、完善生产能力，基本型产品的质量普遍提高，在性价比上具有优势，提高了企业的竞争生存能力，不少企业已具有中高压、大口径等特种产品，扩大了国内产品的配套能力，为进一步扩大市场创造了条件。但智能型、总线型产品还未形成品牌，高端产品主要依靠国外配套。我国企业规模较小，技术水平较低，品牌竞争力尚弱，这些问题如果不及时解决，不仅将极大地影响中国执行器行业的整体配套水平，而且也制约着我国执行器行业的健康成长。为此，执行器行业需要采取以下措施：

- 1) 统一质量标准，制定出与国际水平接轨的、具有权威的国家标准。

- 2) 建立、健全准入证制度。通过对阀门企业现有技术、资金、设备、员工素质、环保措施等方面的统筹考虑制定准入标准，提高准入门槛。

3) 启动退出机制, 效仿施工监理制度, 采用抽查、检验、年审等手段, 将粗制滥造的企业淘汰出局。惟有如此, 才能净化市场, 做到优胜劣汰, 让中国用户的需求得到最大的满足。

本书由上海大学付敬奇主编，参加编写的有王海宽、徐彩仙、郑磊、陈鹏。

上海自动化仪表研究所的史美纪老师在百忙中对本书进行了认真的审阅,并提出了很多建设性的意见和建议,上海市电站自动化重点实验室也给予了支持和帮助,在此深表感谢!

本书的特点是对执行器做一个完整的、系统的、可供实用的介绍。由于编者的学识和实践经验所限，时间仓促，难免会出现以偏概全的现象，书中疏漏和错误在所难免，恳请读者和同行指正和赐教。

编者

常用物理量符号意义

- A_e ——膜片有效面积 (m^2)
 C_s ——弹簧刚度 (N/m), $C_s = A_e p_r / L$
 H ——泵的扬程 (m)
 H_t ——离心泵的理论扬程 (m)
 P_a ——泵额定工况下的轴功率 (kW)
 P_d ——泵出口压力 (MPa)
 P_{gas} ——缓冲罐充气压力, 一般为泵出口压力的 60% (MPa)
 P_r ——弹簧范围, 相当于使弹簧产生全行程变形量 L 所需加在薄膜上的压力变化范围 (Pa)
 P_{rs} ——泵出口管路的总阻力损失 (不包括加速度头) (MPa)
 P_s ——泵入口压力 (MPa)
 Q ——泵流量 (m^3/s)
 Q_c ——流量标定曲线上同一行程处的流量 (L/h)
 Q_i ——稳定性精度试验在某一行程处测得的一组单个流量的任一测量值 (L/h)
 Q_{max} ——最大流量或额定流量 [在最大相对行程长度 (100%) 处测得的单个流量测量值的算术平均值] (L/h)
 $Q_{R\text{max}}$ ——同一行程位置间断测得的一组单个流量值的最大值 (L/h)
 $Q_{R\text{min}}$ ——同一行程位置间断测得的一组单个流量值的最小值 (L/h)
 $Q_{s\text{max}}$ ——组流量的最大测量值 (L/h)
 $Q_{s\text{min}}$ ——组流量的最小测量值 (L/h)
 R ——从调节器到调节阀之间的管道阻力
 c_{1u} ——叶轮进口处液流绝对速度在圆周方向的分速度 (m/s)

c_{2u} ——叶轮出口处液流绝对速度在圆周方向的分速度 (m/s)

h ——调节阀上压差

u_1 ——叶轮进口处的圆周速度 (m/s)

u_2 ——叶轮出口处的圆周速度 (m/s)

u_i —— i 点处液流随叶轮旋转的速度, 即圆周速度 (m/s)

$\bar{v}$ ——流体平均流速 (m/s)

w_i —— i 点液流的相对于旋转叶轮的速度 (m/s)

β_i —— w_i 与 u_i 反方向的夹角, 称相对液流角

γ ——流体重度

δ_Q ——工艺要求的允许流量不均匀度

η ——泵效率

η_t ——泵传动装置效率

η_v ——泵的容积效率

ξ ——调节阀阻力系数

ρ ——介质密度 (kg/m^3)

φ ——脉动系数, 单缸泵 $\varphi=1.1$, 双缸泵 $\varphi=0.42$, 三缸泵 $\varphi=0.05$

目 录

编写说明	1
前言	1
常用物理量符号意义	1
第1章 概论	1
1.1 执行器概述	1
1.1.1 执行器的作用	1
1.1.2 执行器的构成	2
1.1.3 执行器的分类	4
1.2 执行器发展状况	5
1.2.1 调节阀智能化	6
1.2.2 执行器数字化、智能化、通信化技术	8
1.2.3 总结	14
第2章 阀门	16
2.1 概述	16
2.1.1 阀门的分类	16
2.1.2 阀门型号的编制方法	22
2.1.3 阀门常用标准代号	31
2.1.4 阀门的驱动装置	32
2.2 调节阀	34
2.2.1 调节阀的流量系数和流量特性	34
2.2.2 调节阀的结构形式	48
2.2.3 调节阀的主要参数	63
2.3 执行机构的特性分析	72
2.3.1 不平衡力和不平衡力矩	72

2.3.2 允许压差的计算	75
第3章 气动执行机构	77
3.1 概述	77
3.1.1 气动执行器的用途与特点	77
3.1.2 气动执行器的组成	77
3.2 气动执行器结构、分类及工作原理	81
3.2.1 气动执行机构的用途与结构特点	81
3.2.2 气动单元组合仪表	84
3.2.3 气动执行机构的工作原理举例	86
3.3 气动执行器的特性和技术要求	89
3.3.1 气动执行机构的静态、动态特性	89
3.3.2 执行机构输出力和刚度计算	91
3.4 气动执行器附件	96
3.4.1 阀门定位器	96
3.4.2 电-气转换器	113
3.4.3 阀位变送器	116
3.4.4 阀位控制器	118
3.4.5 电磁阀	120
3.4.6 气动保位阀	121
3.4.7 气动继电器	123
3.4.8 手轮机构	124
3.4.9 油雾器	128
3.4.10 空气过滤减压器和空气安全阀	128
3.4.11 空气过滤器	131
3.4.12 气动减压器	133
3.4.13 其他附件	135
3.5 气动执行器的选择方法	136
3.5.1 执行机构和调节阀结构形式的选择	136
3.5.2 控制回路中气动调节阀的选用	138

3.5.3 气开、气关的选择及实例	143
3.6 气动执行器的安装与维护	145
3.6.1 气动执行器的安装	145
3.6.2 气动执行器的维修	147
3.6.3 气动执行器常见故障及消除方法	148
3.7 液动阀门执行器	155
3.7.1 液动执行器特点和组成	155
3.7.2 液压缸分类	157
3.7.3 电液执行机构的控制	162
3.7.4 液压控制元件	165
3.7.5 液动执行器的使用和维护	174
3.7.6 液动执行器动作异常原因分析	179
3.8 新型气动执行器	182
第4章 电动执行器	185
4.1 概述	185
4.1.1 电动执行器的用途和分类	185
4.1.2 电动执行器的要求	186
4.2 DKJ 及 DKZ 型电动执行器	187
4.2.1 伺服电动机	187
4.2.2 晶闸管的触发电路	192
4.2.3 步进电动机	193
4.2.4 前置磁放大器	202
4.2.5 附属部件	213
4.2.6 典型参数	215
4.3 其他电动执行器	215
4.3.1 积分式电动执行器	215
4.3.2 滚切电动机式电动执行器	216
4.3.3 多转式电动执行器	219
4.3.4 永磁低速同步电动机式执行器	220

4.3.5 数字式电动执行器	222
4.4 智能式电动执行器	223
4.4.1 DKJ 型电动执行器及其不足	223
4.4.2 智能电动执行器及特点	223
4.4.3 几种典型智能电动执行器	225
4.4.4 智能电动执行器的发展趋势	233
第 5 章 电磁阀	235
5.1 概述	235
5.1.1 电磁阀的主要特点	235
5.1.2 电磁阀的工作原理	236
5.1.3 电磁阀的技术发展	237
5.2 电磁阀的分类	242
5.2.1 按阀体结构分类	242
5.2.2 按工作介质分类	243
5.2.3 按其他方式分类	244
5.3 填料函型电磁阀	245
5.3.1 填料函和填料结构	245
5.3.2 直接动作式电磁阀	250
5.3.3 差压动作式电磁阀	256
5.4 无填料函型电磁阀	258
5.4.1 无填料函型电磁阀的特点及用途	258
5.4.2 直接动作式电磁阀	258
5.4.3 先导式电磁阀	260
5.5 特种用途电磁阀	266
5.5.1 防爆电磁阀	266
5.5.2 高温高压电磁阀	267
5.5.3 电磁阀举例	268
5.6 电磁阀的选型与维护	272
5.6.1 安全性	273

5.6.2	适用性	273
5.6.3	可靠性	275
5.6.4	经济性	276
5.6.5	如何正确地订购阀门	276
5.6.6	电磁阀故障处理	277
5.6.7	电磁阀安装注意事项	280
参考文献		281

第 1 章 概 论

1.1 执行器概述

1.1.1 执行器的作用

在现代的工业、农业、国防和科学技术领域中，自动控制技术得到了广泛的应用。所谓自动控制，就是不需要人的直接参与，而能控制某些物理量按照指定的规律变化。工业生产过程自动控制系统一般都是由传感器、变送器、调节器、执行器等部分和受控对象所组成。其中执行器总是不可缺少，执行器又称终端控制元件（final controlling element），一般由执行机构和调节机构（一般称为调节阀）组成。此外，根据需要还可配上阀门定位器和手轮机构等附件。在过程控制系统中，执行器接受控制器的指令信号，经执行机构将其转换成相应的角位移或直线位移，去操纵调节机构，改变被控对象进、出的能量或物料，以实现过程的自动控制。自动控制系统的组成方式虽不尽一致，如按给定值操纵的开环控制，按干扰补偿的开环控制以及按偏差调节的闭环控制，但执行部分总是不可缺少的组成部分。在工业自动控制过程中，执行器的动作代替了人的操作，不仅降低了人的劳动强度，保证了人身安全，而且提高了工厂的生产效率，因而人们往往把执行器比喻为生产过程自动化中的“手脚”。

图 1-1 是一个采用气动仪表的热交换器温度调节系统的示意图，用以说明执行器在自动调节系统中的地位和作用。图中执行器接受来自调节仪表的信号，并根据这一信号直接改变被调介质（蒸汽）的流量，也就是改变输入热交换器的热量，使出

口热水温度保持在给定的温度值上。

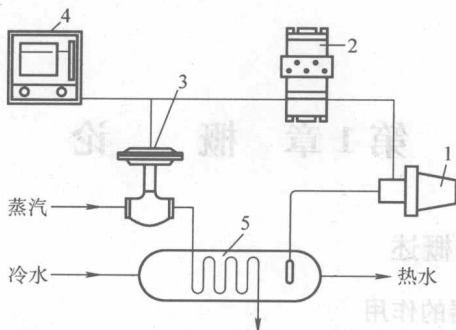


图 1-1 热交换器温度调节系统的示意图

1—温度变送器 2—调节仪表 3—执行器 4—显示仪表 5—调节对象

如果把传感器比喻成人的感觉器官的话，那么调节器就是人的大脑，执行器在自动控制系统中的作用就是相当于人的四肢，它接受调节器的控制信号，改变操纵变量，使生产过程按预定要求正常执行。由于执行器是直接安装在生产现场的，使用条件较差，直接与介质接触，尤其当被调介质具有高压、高温、深冷、极毒、易燃、易爆、易渗透、易结晶、强腐蚀和高粘度等不同特点时，它是整个控制系统的薄弱环节，执行器能否保持正常工作将直接影响自动控制系统的安全性和可靠性、执行器的阀门口径和流量特性等是否选择适当，也将直接影响整个自动调节系统的调节范围和稳定性等调节品质。可见，执行器是自动控制系统中的一个很重要的组成部分，对于执行器的正确选用和安装、维修等各个环节，必须给予足够的注意。

1.1.2 执行器的构成

各类执行器的调节机构的种类和构造大致相同，主要是其执行机构不同。因此在介绍执行器时分为执行机构和调节机构两部分，调节机构又称为调节阀。应说明的是，在电动执行器中执行机构和调节阀基本是可分的两个部分，在气动执行器中两者是不可分的，是统一的整体，如图 1-2 所示。

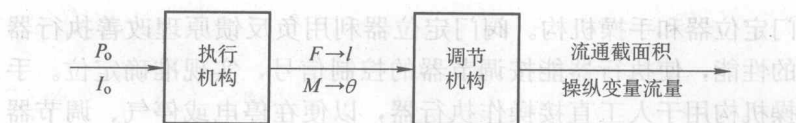


图 1-2 执行器的构成框图

执行机构是执行器的推动装置，它根据输入信号的大小，产生相应的输出力 F （或输出力矩 M ）和直线位移 l （或角位移 θ ），推动调节机构作用。调节机构是执行器的调节部分，在执行机构的作用下，调节机构的阀芯产生一定位移，即执行器的开度发生变化，从而直接调节从阀芯、阀座之间流过的控制变量的流量。

图 1-3 为气动执行器的外形和结构图。执行机构是执行器的推动装置，它根据控制信号的大小，产生相应的推力，推动调节阀动作。调节阀是执行器的调节部分，在执行机构推力的作用下，调节阀产生一定的位移或转角，直接调节流体的流量。

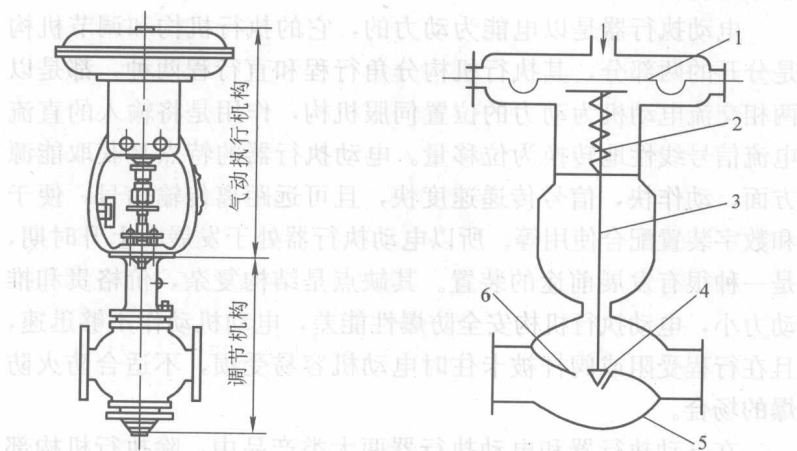


图 1-3 气动薄膜执行器的外形和内部结构

1—气动薄膜 2—弹簧 3—阀杆 4—阀芯 5—阀体 6—阀座

执行器还可以配备一定的辅助装置，常用的辅助装置有阀