



化工工人岗位培训教材

化工仪表

第二版

蔡夕忠 主编

HUAGONG YIBIAO



化学工业出版社



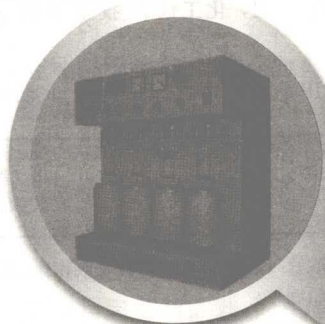
化工工人岗位培训教材

化工仪表

第二版

蔡夕忠 主编

HUAGONG YIBIAO



化学工业出版社

·北京·

本书是《化工工人岗位培训教材》(第二版)之一,依据《国家职业标准》和《职业技能鉴定规范》编写。

本书详尽地讲述了检测仪表、控制仪表、显示仪表、执行器和自动控制系统等知识,对基本概念和基本原理的讲解简单明了,注重实践,充分结合工厂实例,突出技能操作的实际应用。

本书可作为化工、石化、炼油、冶金、电力等流程工业仪表维修工的培训教材,也可作为职业院校自动化相关专业的教材,还可供仪表工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

化工仪表/蔡夕忠主编.—2版.—北京:化学工业出版社,2008.8

化工工人岗位培训教材

ISBN 978-7-122-03105-1

I. 化… II. 蔡… III. 化工仪表-技术培训-教材 IV. TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 115510 号

责任编辑:刘 哲 周国庆

文字编辑:高 震

责任校对:边 涛

装帧设计:尹琳琳

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印 装:北京市兴顺印刷厂

850mm×1168mm 1/32 印张10½ 字数294千字 2008年10月北京第2版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:28.00 元

版权所有 违者必究

《化工仪表》作为《化工工人岗位培训教材》之一,从2004年发行以来,得到广大读者的厚爱,由于知识结构完整、起点低,非常适合职工培训。为了更好地服务读者,在化学工业出版社的倡导下,我们组织编写了教材的第二版,在每章后增加了思考与练习,并对原来的章节进行调整,首先讲述自动化的基础知识,再按照组成控制系统的检测仪表、显示仪表、控制仪表、执行器和自动控制系统的方案以及安装、调试顺序编写。

全书分6章,第1章介绍化工自动化的基础知识,包括自动控制系统组成、自动控制系统类型、控制系统的控制指标、常用的控制规律及其对控制系统的影响,介绍化工生产带控制点的流程图(PID图)的识别。第2章介绍自动检测仪表知识,内容包括温度检测、压力检测、物位检测、流量检测等仪表。第3章介绍自动显示仪表,包括自动平衡式显示仪表、数字式显示仪表和无纸记录仪等。第4章介绍控制仪表,包括DDZ-Ⅲ型调节器、KMM可编程调节器、可编程控制器(PLC)以及DCS、FCS控制系统。第5章为执行器,包括气动执行器和电动执行器。第6章为自动控制系统,包括简单控制系统的构成、设置、各个环节的选择以及参数整定和投运,介绍串级、比值、均匀、选择、分程、前馈等典型控制系统以及新型控制系统和信号联锁报警系统、典型装置的控制方案分析、控制系统的安装、投运与维护。

本书编写过程中,得到了化工企业专家的指导,并结合工厂的实际应用,对当前自动控制及相关知识给予了详尽的阐述。

本书由蔡夕忠主编,任慧荣、刘朝霞参编。第1章、第6章由蔡夕忠编写,第2章由刘朝霞编写,第3章、第5章由任慧荣编写,第4章由蔡夕忠、任慧荣共同编写。蔡夕忠对全书进行修改和统稿。

由于编者水平所限,书中难免存在不当之处,恳请读者提出宝贵意见。

编 者

为适应市场经济发展和行业发展对职工教育培训的需要,积极配合化工企业技术工人进行职业技能鉴定及培训,提高工人理论知识和操作技能,根据国家有关部门职业技能鉴定标准,结合化工企业技术工人的现状,化学工业出版社组织了一套《化工工人岗位培训教材》,包括《化学基础》、《化工工艺基础》、《机械基础》、《化工安全技术基础》、《化工单元操作过程》、《化工电气》、《化工仪表》和《化工分析》。

本书为《化工仪表》,全书共分为七章:第1章介绍仪表相关知识,内容包括电工电子基本知识、计算机知识、机械基础知识和化工基础知识。第2章介绍仪表的基础知识,内容包括计量基础知识、仪表的主要性能指标、常用图例符号和仪表设备的防护。第3章为检测仪表知识,内容包括温度检测、压力检测、物位检测、流量检测 and 智能变送器。第4章为控制仪表与计算机控制系统,内容包括控制仪表、集散控制系统、PLC 可编程控制器和现场总线控制系统。第5章为显示仪表,内容包括自动平衡式显示仪表、数字式显示仪表和无纸记录仪。第6章为执行器,内容包括气动执行器和电动执行器。第7章为自动控制系统,内容包括控制系统的基本知识、控制规律及对过渡过程的影响、简单控制系统、典型控制系统以及新型控制系统的简单介绍和信号联锁报警系统、典型设备的控制方案分析、控制系统的安装、控制系统的投运与维护。

在内容选择上充分考虑到现代仪表工的特点和要求,注意仪表工在化工企业中的地位、工作内容和职能要求,强调实际应用技能内容的介绍。

本书在编写过程中聘请了化工企业的专家给予指导,结合工厂的实际应用,对当前的自动化检测与控制及其相关知识予以详尽的阐述。

本书由北京市化工学校高级讲师蔡夕忠主编,高级讲师任慧荣、刘朝霞老师和焦相卿老师参编。其中第1、2章由焦相卿编写,第3章由刘朝霞编写,第4、5章由任慧荣和蔡夕忠共同完成,第

6 章由任慧荣编写,第 7 章由蔡夕忠编写。蔡夕忠对本书的文稿和图稿进行了修改和统稿。

由于编者水平有限,书中难免存在不当之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

青 岛 新 创

1	1.1
2	2.1
3	3.1
4	4.1
5	5.1
6	6.1
7	7.1
8	8.1
9	9.1
10	10.1
11	11.1
12	12.1
13	13.1
14	14.1
15	15.1
16	16.1
17	17.1
18	18.1
19	19.1
20	20.1
21	21.1
22	22.1
23	23.1
24	24.1
25	25.1
26	26.1
27	27.1
28	28.1
29	29.1
30	30.1
31	31.1
32	32.1
33	33.1
34	34.1
35	35.1
36	36.1
37	37.1
38	38.1
39	39.1
40	40.1
41	41.1
42	42.1
43	43.1
44	44.1
45	45.1
46	46.1
47	47.1
48	48.1
49	49.1
50	50.1
51	51.1
52	52.1
53	53.1
54	54.1
55	55.1
56	56.1
57	57.1
58	58.1
59	59.1
60	60.1
61	61.1
62	62.1
63	63.1
64	64.1
65	65.1
66	66.1
67	67.1
68	68.1
69	69.1
70	70.1
71	71.1
72	72.1
73	73.1
74	74.1
75	75.1
76	76.1
77	77.1
78	78.1
79	79.1
80	80.1
81	81.1
82	82.1
83	83.1
84	84.1
85	85.1
86	86.1
87	87.1
88	88.1
89	89.1
90	90.1
91	91.1
92	92.1
93	93.1
94	94.1
95	95.1
96	96.1
97	97.1
98	98.1
99	99.1
100	100.1

第 1 章 化工自动化	1
培养目标	1
1.1 化工自动控制系统的基本知识	2
1.1.1 自动控制系统的组成	2
1.1.2 自动控制系统的类型	3
1.1.3 控制系统的控制指标	6
1.1.4 控制系统环节特性	9
1.2 控制规律对过渡过程的影响	18
1.2.1 常用控制规律	18
1.2.2 控制参数对过渡过程的影响	22
1.3 带控制点的工艺流程图	24
1.3.1 仪表图形符号	24
1.3.2 字母代号	27
1.3.3 仪表位号的表示方法	29
1.3.4 化工设备图形符号	30
1.3.5 带控制点的工艺流程图认识	32
思考与练习	33
第 2 章 检测仪表	35
培养目标	35
2.1 测量的相关知识	36
2.1.1 法定计量单位	36
2.1.2 测量误差	39
2.1.3 仪表的主要性能指标	41
2.1.4 仪表校验的数据处理	44
2.2 温度检测	45
2.2.1 温度检测仪表概述	45
2.2.2 热电阻	46
2.2.3 热电偶	51

2.2.4	热电阻和热电偶的安装	59
2.2.5	其他类型温度检测仪表	64
2.3	压力检测	65
2.3.1	压力检测的基本知识	65
2.3.2	弹性式压力检测仪表	66
2.3.3	压力传感器	74
2.4	物位检测	76
2.4.1	概述	76
2.4.2	浮力式液位计	76
2.4.3	差压式液位计	78
2.4.4	电容式物位计	84
2.4.5	其他物位计	84
2.5	流量检测	86
2.5.1	概述	86
2.5.2	差压式流量计	87
2.5.3	容积式流量计	99
2.5.4	漩涡流量计	101
2.5.5	电磁流量计	104
2.5.6	超声波流量计	107
2.5.7	转子流量计	108
2.5.8	质量流量计	112
2.6	智能检测仪表简介	117
2.6.1	ST3000 差压变送器	118
2.6.2	3051C 差压变送器	121
2.6.3	智能温度变送器	122
思考与练习		124

第 3 章 显示仪表 128

培训目标	128
3.1 自动平衡式显示仪表	129
3.1.1 电子电位差计	129

3.1.2	电子平衡电桥	132
3.1.3	ER180 系列自动平衡显示仪表	136
3.2	数字式显示仪表	138
3.2.1	数字式显示仪表的性能指标	138
3.2.2	数字式显示仪表的结构	139
3.3	无纸记录仪	140
3.3.1	无纸记录仪的基本结构	140
3.3.2	无纸记录仪的功能与操作	142
3.3.3	无纸记录仪的应用	144
	思考与练习	147

第 4 章 控制仪表与计算机控制系统 149

	培训目标	149
4.1	控制仪表	150
4.1.1	DDZ-Ⅲ 控制仪表	151
4.1.2	KMM 可编程调节器	156
4.2	集散控制系统 (DCS)	166
4.2.1	集散控制系统的基本概念	169
4.2.2	集散控制系统的硬件配置	171
4.2.3	集散控制系统的功能	175
4.2.4	集散控制系统与现场仪表的连接	177
4.3	可编程控制器 (PLC)	179
4.3.1	可编程控制器的特点	179
4.3.2	可编程控制器的基本组成	179
4.3.3	可编程控制器的软件系统	183
4.3.4	可编程控制器的分类	185
4.3.5	欧姆龙 PLC 常用指令	187
4.3.6	可编程控制器化工生产工程举例	190
4.4	现场总线控制系统 (FCS)	195
4.4.1	现场总线控制系统的产生和特征	196
4.4.2	主要的现场总线控制系统简介	197

思考与练习	199
-------	-----

第 5 章 执行器 201

培训目标	201
------	-----

5.1 气动执行器	202
-----------	-----

5.1.1 气动执行机构	202
--------------	-----

5.1.2 调节机构	204
------------	-----

5.1.3 调节阀的流量特性	208
----------------	-----

5.1.4 阀门定位器	211
-------------	-----

5.1.5 气动执行器的选择	213
----------------	-----

5.1.6 气动执行器的安装与维护	215
-------------------	-----

5.2 电动执行器	217
-----------	-----

5.2.1 电动执行机构	217
--------------	-----

5.2.2 智能式执行机构	219
---------------	-----

5.2.3 控制电机	220
------------	-----

5.2.4 电磁阀	222
-----------	-----

思考与练习	224
-------	-----

第 6 章 自动控制系统 226

培训目标	226
------	-----

6.1 简单控制系统	227
------------	-----

6.1.1 简单控制系统的环节与构成	227
--------------------	-----

6.1.2 控制系统控制方案的确定	228
-------------------	-----

6.1.3 控制系统中控制器的选择	229
-------------------	-----

6.1.4 检测装置和执行装置的选择	238
--------------------	-----

6.1.5 控制系统之间的关联影响	240
-------------------	-----

6.2 典型控制系统	242
------------	-----

6.2.1 串级控制系统	243
--------------	-----

6.2.2 均匀控制系统	249
--------------	-----

6.2.3 比值控制系统	251
--------------	-----

6.2.4 分程控制系统	257
--------------	-----

6.2.5	选择控制系统	260
6.2.6	前馈控制系统	264
6.3	新型控制系统简介	267
6.3.1	自适应控制系统	267
6.3.2	多变量解耦控制	269
6.3.3	预测控制	270
6.3.4	模糊控制	273
6.4	信号联锁报警系统	275
6.4.1	报警系统	276
6.4.2	联锁保护系统	278
6.4.3	联锁报警的 PLC 控制举例	280
6.4.4	故障检测、诊断和容错控制	283
6.5	典型设备的控制方案分析	285
6.5.1	无相变换热器的温度控制	285
6.5.2	载热体冷凝加热器的温度控制	287
6.5.3	精馏塔的控制	287
6.5.4	流体传送设备的流量控制	291
6.6	控制系统的安装	294
6.6.1	仪表接线图	294
6.6.2	仪表供气系统	299
6.6.3	仪表供电系统	301
6.7	控制系统的投运和维护	303
6.7.1	控制系统运行前的准备工作	303
6.7.2	控制系统的投运	304
6.7.3	控制系统的维护、故障分析与处理	305
	思考与练习	313
	参考答案	317
	参考文献	324

第 1 章

化工自动化



培训目标

1. 了解化工自动控制系统的作用和控制系统的类型。
2. 了解化工设备的符号和设备在化工生产中的作用。
3. 掌握控制系统的质量指标的表示方法。
4. 明确控制系统的构成以及各部分的作用。
5. 学会绘制带控制点的流程图，并能分析流程图中各个符号的代表意义。
6. 会利用控制系统的过渡曲线判断控制系统的品质指标，并能在曲线上标注和计算。
7. 熟悉常用的控制规律，能明确各种控制规律对控制质量的影响。

1.1 化工自动控制系统的基本知识

自 20 世纪 40 年代以来,随着工业生产的迅速发展,自动化技术在国防建设、交通运输、工业生产等方面得到广泛应用。如飞机、导弹和宇航器等的起飞、发射、航行、投弹、着陆等,汽车、轮船等的自动导航系统都是自动化系统应用的实例。在工业生产中使用自动控制系统的目的是取代手动控制,使生产在一定程度上自动地进行。

在化工生产中,为了保证产品的质量和产量,需要对化工生产过程的温度、压力、流量、物位、成分等进行自动控制。化工自动控制系统的作用就是保证工艺生产的参数按照生产要求稳定不变或者是按照某种要求变化。

1.1.1 自动控制系统的组成

自动控制是在手动控制的基础上发展起来的,它是用自动化仪表等自动化装置代替人的眼睛、大脑和双手,实现观察、比较、判断、运算和执行等功能,自动地完成控制过程。控制规律也是在人工操作经验的基础上发展起来的。图 1-1 所示为列管式换热器温度自动控制原理图。图中,自动化装置包括检测元件及变送器、控制器、调节阀三部分。检测元件(热电阻)及变送器(温度变送器)

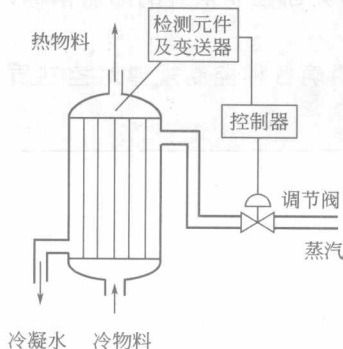


图 1-1 列管式换热器温度
自动控制原理图

的作用是检测换热器出口物料的温度,并转换成相应的检测信号。调节器根据温度变送器输出的测量信号与设定值(工艺规定值)进行比较,得出偏差,按设定的控制规律对偏差进行运算,发出控制信号给调节阀,开大或关小蒸汽阀门,实现控制作用,使换热器物料出口温度恢复到设定值。

根据上述的例子可知,自动化系统组成包括:取代人的眼睛,

完成工艺变量检测和信号转换的检测元件及变送器；取代人的大脑，完成比较、判断和运算功能的控制器；取代手脚，根据控制器的信号改变物料流量或能量流的执行装置；另外还有需要控制的设备、机器或生产过程，称为被控对象或被控系统（如换热器）。

在自动化系统中，把被控对象中需要维持、通过控制能达到工艺要求的变量称为被控变量（如换热器出口温度）。被控变量的预定值称为设定值，设定值与被控变量的测量值之差称为偏差。控制系统中为保证被控变量稳定而引出的可调节的物料量或能量（如换热器中加热蒸汽的流量）称为操纵变量。除操纵变量外，作用于过程并引起被控变量变化的因素，称为扰动（如冷流体流量波动，蒸汽阀前压力变化等）。其实，在没有确定为操纵变量之前，操纵变量也是扰动的一种，操纵变量是引起被控变量变化的内在因素，其作用是使被控变量向设定值方向变化。

1.1.2 自动控制系统的类型

在生产过程中，被控变量偏离设定值的主要原因有三个方面。一是出现扰动，如换热器中被加热的冷流体流量增加时，出口温度将下降；二是根据工艺要求使设定值发生改变，例如，要提高换热器被加热物体的出口温度；三是累积误差，即使设定值不变，扰动也不出现，但由于任何控制都不可能没有一点误差，时间越长累积误差就会越大。由于上述原因，被控变量不可避免地发生变化，因此，必须选择适当的控制系统对被控变量进行控制。

（1）按控制系统的基本结构分 按控制系统的基本结构，可分为开环控制系统和闭环控制系统两大类。如换热器温度控制，要保证换热后的出口物料温度，即被控变量是出口温度，一般通过改变蒸汽流量的方法来达到控制目的，即以蒸汽流量作为操纵变量，根据实际情况可以分别用开环和闭环控制系统来实现。

① 开环控制系统 开环控制系统是指信号按一个方向流动，而没有形成回路。开环控制系统有两种形式。一种是按设定值进行控制，如图 1-2(a) 所示，蒸汽流量控制阀的开度通过控制装置随着设定值变化，与设定值保持一定的函数关系，当设定值变化时，操纵变量随之变化。另一种是按扰动进行控制，即所谓前馈控制，

如图 1-2(b) 所示, 如果负荷变化是主要扰动, 即温度发生偏离的主要原因是物料的入口流量, 可使蒸汽流量随着入口的冷物料流量的变化, 按照一定规律来变化。这两种形式的共同特点是操纵变量对于系统的输入信号 (设定值或入口流量) 没有影响, 无比较和反馈作用。一般判别的方法是: 假设阀门开度变化, 即操纵变量变化, 分析被测变量是否随之变化, 若不变化, 则为开环控制系统。

② 闭环控制系统 闭环控制系统又称反馈控制系统, 它是按设定值与被控变量的检测值的差值进行控制的。在图 1-2(c) 中, 操纵变量 (蒸汽量) 通过工艺过程去控制被控变量, 而被控变量又通过自动控制装置去影响操纵变量。从信息的传送关系来看, 构成了一个闭合回路, 所以称为闭环控制系统。被控变量信息要送回自动控制装置, 所以也称为反馈控制系统。

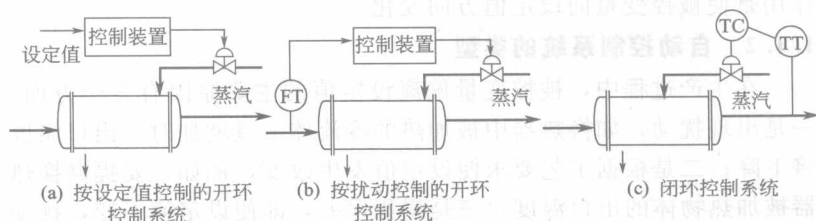


图 1-2 控制系统的基本类型

在闭环控制系统中, 按照设定情况的不同, 可以分成以下三种类型。

a. 定值控制系统 即设定值恒定不变的控制系统。其基本任务是克服扰动对被控变量的影响, 即在扰动作用下仍能使被控变量保持在设定值。换热器出口温度控制就是一个定值控制系统。化工生产过程控制中, 多数控制系统属于此类。

b. 随动控制系统 也称自动跟踪系统。其设定值事先未知, 是其他变量的函数。主要任务是使被控变量能尽快地、准确地跟踪设定值的变化。在化工自动控制系统中, 某些比值控制系统就属于此类。

c. 程序控制系统 其设定值是变化的, 但它是时间的已知函数, 即设定值按一定的时间程序变化。在化工生产中, 间歇反应

器、玻璃熔化炉的升温控制系统都属于此类系统。一定要注意程序控制不同于顺序控制，后者是指开关量逻辑控制系统，多为开环控制系统。

(2) 按控制系统的复杂程度分 在化工生产过程中，常常按控制系统的复杂程度将其划分为简单控制系统、复杂控制系统和新型控制系统。

① 简单控制系统 简单控制系统是化工生产过程中最常见、应用最广泛、数量最多的控制系统。它的构成简单，需用设备少，易于调整和投运，能满足一般的生产过程的控制要求。

简单控制系统是由一个检测变送器、一个控制器、一个执行机构和一个对象构成的闭环控制系统，图 1-3 为简单控制系统的方块图。图中，检测变送器的作用是把被控变量转化为控制器能够识别的信号，例如用热电阻或热电偶测量温度，利用热电阻或热电偶将温度信号转换成电阻或电动势，根据控制器的情况，或者是用温度变送器将其转换成统一的信号（如 4~20mA），或者是直接送到控制器。

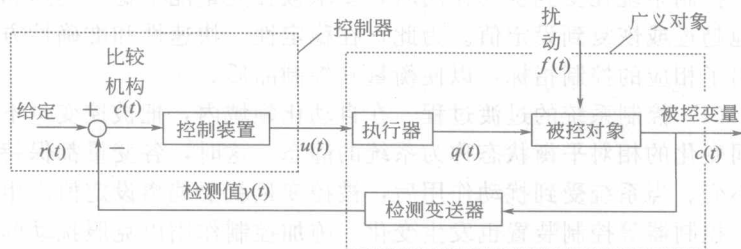


图 1-3 简单控制系统的方块图

比较机构的作用是将设定值与测量值比较并输出其差值。控制装置的作用是根据偏差的正负、大小及变化情况，按某种预定的控制规律计算，其输出信号传递给执行机构，完成控制作用。比较机构和控制装置通常组合在一起，称为控制器。目前应用最广的控制器是 DDZ-III 型调节器和以 CPU 为核心的智能化控制器或计算机。

执行器的作用是接受控制器送来的信号并将其转换，然后去改

变操纵变量。最常用的执行器分为气动式、液动式和电动式。化工生产中最主要的执行装置是气动薄膜调节阀。

在控制系统中,因为控制器的形式和控制规律是可以调整的,设计控制器的算法用以提高控制系统的质量,所以把控制器以外的控制对象、执行器、检测元件与变送器组合在一起,统称广义对象。

② 复杂控制系统 相对简单控制系统而言,复杂控制系统所采用的元件、仪表较多,构成的系统也复杂,功能较齐全,使用常规仪表就可实现,仍属于常规控制系统。在有些教材中被命名为其他控制系统或典型控制系统,常见的有串级控制系统、均匀控制系统、比值控制系统、前馈控制系统、分程控制系统等。

③ 新型控制系统 新型控制系统是指随着计算机技术应用于生产中而出现的常规控制仪表无法实现的控制系统,如多变量解耦控制、自适应控制、模糊控制等。这一类控制系统的最主要特点是利用计算机灵活的计算能力,按照建立的控制对象的数学模型来确定控制器的算法。

1.1.3 控制系统的控制指标

控制系统在受到扰动作用时,要求被控变量能平稳、迅速和准确地趋近或恢复到设定值。为此,在稳定性、快速性和准确性方面提出了相应的控制指标,以便衡量其控制品质。

(1) 控制系统的过渡过程 在自动化领域内,把被控变量不随时间变化的相对平衡状态称为系统的静态。这时,各变量都保持常数不变。当系统受到扰动作用后,被控变量就要偏离设定值产生偏差,控制器等控制装置也发生变化,施加控制作用以克服扰动的影响,使被控变量重新回到设定值上,系统达到新的平衡状态。这种被控变量随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态,即系统在静态受到扰动的作用,平衡被打破,系统进入动态,在控制作用下,系统又逐渐进入一个新的平衡状态。这种从原有平衡状态过渡到新的平衡状态的整个过程称为自动控制系统的过渡过程。图 1-4(a)所示为系统的阶跃扰动,图 (b)~(f) 为系统的 5 种过渡过程。图 (b) 所示为发散振荡过程,它表明系统在受到阶跃扰动作用后,控制作用非但不能把被控变量调回到设定值,反而使其剧烈地振