图书在版编目（CIP）数据

仪表及自动化入门/刘朝霞，焦相卿编. —北京：化学工业出版社，2006.9
ISBN 978-7-5025-9331-5

Ⅰ.仪… Ⅱ.①刘…②焦… Ⅲ.化工仪表-自动化-基本知识 Ⅳ.TQ056

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2006）第 117943 号

仪表及自动化入门

刘朝霞 焦相卿 编

责任编辑：刘 哲 宋 辉

责任校对：陈 静 宋 夏

封面设计：韩 飞

*

化学工业出版社出版发行

（北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011）

购书咨询：（010）64518888

购书传真：（010）64519686

售后服务：（010）64518899

http://www.cip.com.cn

*

新华书店北京发行所经销

化学工业出版社印刷厂印装

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 7¾ 字数 183 千字

2007 年 1 月第 1 版 2007 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 978-7-5025-9331-5

定 价：18.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者，本社发行部负责退换

前　言

自动化知识涵盖面广、内容丰富，为了使读者对自动化及仪表知识有一个初步的了解，编者按照人的认知规律，对书中内容按照由整体到局部细节，再到整体应用的思路进行介绍，力争做到对知识点的层层递进。

在编写过程中，注重贯穿以能力为本位，以应用为主线的指导思想，面向实际，适当降低理论难度。力争做到语言通俗易懂、深入浅出。对于必须了解的工作原理，没有理论推导，阐述也相对简单，配合图示，结合工厂的实际应用，由生活中常见的实例来解释自动化的相关知识。目的是提高读者的阅读兴趣，使初学者学起来轻轻松松。

本书主要分三部分，第一部分为自动化系统基础知识，主要使读者对自动化系统有一个整体认识，明确自动化系统的基本作用与基本构成思路；第二部分主要介绍化工生产中主要的仪表及自动化装置，内容包括第二章检测仪表、第三章控制仪表和第四章执行器；第三部分为自动化系统在化工生产上的具体应用。第一章和第五章由焦相卿编写，第二、三、四章由刘朝霞编写。

本书适用于自动化专业初级人员阅读，也可作为化工、轻工、热电等企业非自动化专业人士的学习资料。

编者在编写过程中，借助于教学思维，力图推陈出新。但

由于编者水平有限，不足之处在所难免，恳请专家读者不吝赐教，批评指正。

编者

2006 年 9 月

目　录

第一章　自动化介绍 …… 1
第一节　概述 …… 1
一、什么是自动化 …… 1
二、自动化需要解决的问题 …… 4
三、自动化在现代化生产中的作用 …… 5
第二节　自动控制的基础知识 …… 6
一、简单的自动控制系统 …… 6
二、自动化系统的控制规律 …… 11
第三节　仪表的基本知识 …… 24
一、仪表的类别 …… 24
二、仪表的位号表示 …… 30
三、常用的性能指标 …… 32
思考题 …… 37
第二章　检测仪表 …… 39
第一节　温度检测仪表 …… 39
一、温度及温标 …… 39
二、膨胀式温度计 …… 40
三、热电阻 …… 43
四、热电偶 …… 50
第二节　压力检测仪表 …… 61

一、压力检测的基本知识 …… 61
二、弹性式压力检测仪表 …… 63
三、压力传感器 …… 74
第三节 物位检测 …… 77
一、差压式液位计 …… 78
二、浮力式液位计 …… 81
三、其他类型的物位计 …… 85
第四节 流量检测 …… 88
一、差压式流量计 …… 89
二、电磁流量计 …… 97
三、转子流量计 …… 101
四、其他类型的流量计 …… 106
思考题 …… 120
第三章 控制仪表 …… 127
第一节 DDZ-Ⅲ型控制仪表 …… 127
一、盘面介绍 …… 127
二、控制器的使用 …… 130
第二节 DCS集散控制系统 …… 133
一、DCS系统的构成 …… 134
二、控制站及其与现场的连接 …… 135
三、操作站及其功能 …… 138
四、DCS体系 …… 141
第三节 PLC可编程控制器 …… 144
一、结构 …… 145
二、PLC的主机结构及接线 …… 148
三、PLC的编程语言 …… 151

四、应用举例 …… 154
思考题 …… 160
第四章　执行器 …… 163
第一节　多种多样的执行器 …… 163
第二节　调节机构 …… 165
一、调节机构的阀体类型 …… 165
二、阀芯 …… 170
第三节　执行机构的介绍 …… 171
一、气动执行机构 …… 171
二、电动执行机构 …… 172
三、阀门定位器 …… 173
第四节　控制阀的作用方式与流量特性 …… 175
一、控制阀的作用方式 …… 175
二、流量特性 …… 176
第五节　控制阀的选择和安装 …… 178
思考题 …… 179
第五章　自动控制系统及应用 …… 181
第一节　简单控制方案的实现 …… 181
一、简单控制系统的构成 …… 181
二、控制方案的确定 …… 182
第二节　典型控制系统 …… 192
一、串级控制系统 …… 192
二、均匀控制系统 …… 195
三、比值控制系统 …… 197
四、分程控制系统 …… 201
五、三冲量控制系统 …… 204

第三节　泵的控制方案 …… 206
一、离心泵的控制 …… 206
二、往复泵的控制 …… 208
第四节　精馏塔的控制 …… 209
一、控制要求 …… 209
二、主要扰动分析 …… 210
三、提馏段温度控制方案 …… 210
四、精馏段温度控制方案 …… 212
第五节　换热器的温度控制 …… 214
一、调节载热（冷）体流量 …… 214
二、对工艺介质分流 …… 216
三、载热体冷凝加热器的温度控制 …… 216
思考题 …… 219
参考答案 …… 221
参考文献 …… 232

第一章　自动化介绍

生活中，我们经常听到“自动化”这个名词，也会接触到自动控制技术，那么，什么是自动化？它是怎样实现的呢？就让我们首先来了解自动化的意义以及自动化的有关概念、常识，进入自动控制领域遨游吧！

第一节　概　　述

以前，“自动化”一词多用在现代化的行业中，如化工、炼油、纺织、电力、轻工等。如今，自动化已经进入到我们的生活领域，出现了许多新兴的词汇，如楼宇自动化、办公自动化等。现代家庭中的自动化装置随处可见，从电饭锅到热水器，从电热炉到空调，它使我们能轻松地感受到生活的便捷。

一、什么是自动化

每一个自动化装置都可以实现一种或一种以上的自动控制。所谓自动控制，指的是机器在无人操作的情况下能够按照人所指定的目标自动地启动、运转或停止。例如，当把空调设置在 20℃时，若室温高于 20℃就能自动打开电源制冷，而当

温度低于 20℃时能自动关断电源。

在生产中，自动化一般包含多个自动控制系统，以实现对生产相关量的控制。这些被控量包括温度、压力、液位、流量等。只有这些被控量在所要求范围时，生产才能正常进行。与上面讲的空调例子类似，如何使这些被控量为某一定值呢？

图 1-1 是电厂、工厂里常见的生产蒸汽的锅炉设备。小锅炉汽包水位过低，会影响蒸汽产生量，并很容易将汽包中的水烧干而发生严重事故。汽包水位过高，将使蒸汽带水滴并有溢出的危险。因此，维持锅炉汽包水位在设定的标准高度值上是保证锅炉正常运行的重要条件。

如图 1-1(a)，若想把液位控制在一定的位置，就需要有效地控制进出水量。手动控制需要用眼睛观察水位的高度，当水位低于指定位置时，把进水阀开大，反之则关小阀门。可见，手动控制就是通过人眼、脑、手的协调作用达到对目标的控制作用。自动化是与手动操作相对应的，它是通过一些装置来替代操作人员的直接劳动，自动管理化工生产过程。自动化要实现的目标与手动控制相一致，通过自动化装置取代人体各部分作用。

图 1-1(b) 是自动控制。对比图 1-1(a) 和 (b) 可以看出，自动控制就是采用自动控制装置，包括自动检测装置（相当于人眼睛观察）、控制器（相当于人脑判断运算）、执行机构（相当于人手实际操作），实现对生产过程的控制，使生产能够按照人预定的规律方式自动运行，并且能够克服干扰因素对系统输出的影响，减小或消除系统实际输出值与希望输出值的偏差。

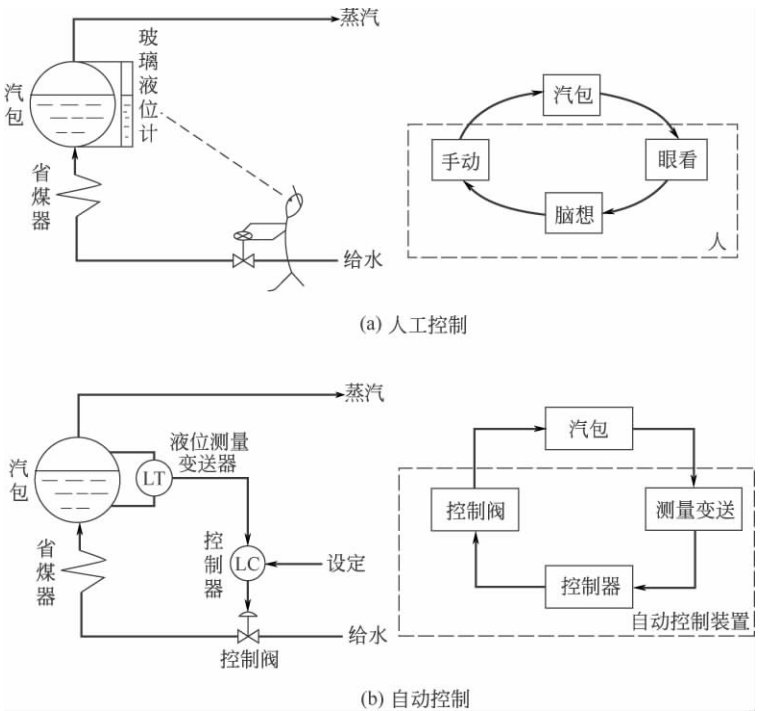


图 1-1　锅炉汽包水位控制示意图

二、自动化需要解决的问题

通过分析锅炉汽包水位控制可以看出，自动控制的目的是取代人的感知、分析、动作器官以实现控制的自动化。自动装置与手动控制的比较如下：

检测元件和变送器——眼或感官；

调节器或控制器——人脑；

执行机构和控制阀——人手。

所以要实现控制目的，主要需要解决这三方面的问题。

自动化解决的第一个问题就是选择合适的自动检测装置，对被控变量——锅炉汽包水位进行检测，并且能转换成自动化系统能识别的信号，相当于“眼睛”。在第二章中将详细介绍各种检测仪表。

检测任务完成后，需要进行控制，所以自动化解决的第二个问题就是选择合适的控制器。在锅炉水位自动控制中，LT（液位测量变送器）检测水位后转换成电流或电压信号，送给LC(液位控制器)，控制器首先把 LT 输出的电信号与给定电信号（根据希望水位值转换过来）进行比较得出偏差，然后控制器可以根据比较偏差信号进行处理，分析偏差正？负？0？数值大小？利用偏差值进行规定的运算后，输出控制信号传送给执行结构，驱动执行机构完成相应动作，使系统的测量值与给定值趋于一致，减少消除偏差，相当于“大脑”。

自动化解决的第三个问题就是选择合适的执行器。在锅炉水位自动控制中，LC 输出的控制信号驱动控制阀，改变阀门的开度，使锅炉汽包水位实际值等于希望值。图 1-1 所示系统中控制器输出信号具体实施操作，来改变控制阀开度，完成最终的操作，相当于“人手”。

在整个控制过程中，不可忽略的问题是信号在传递过程中必须做到各个部分彼此认可，能够识别。一般采用统一的标准信号。工业仪表间的标准统一信号：气动仪表为 20～100kPa，电动Ⅱ型仪表为 0～10mA DC，电动Ⅲ型仪表为 4～20mA DC。

LT 把测量的信号送给 LC 作为控制器的一个输入信号，要求控制器能识别测量输出信号（另一信号是给定信号）。在自动控制系统中常用电流或电压信号进行系统之间的传输，信号类型与给定信号性质相同才有可比性。

三、自动化在现代化生产中的作用

工厂中广泛应用自动化，解放了劳动力，尤其是对于化工等行业，往往是在密闭的管道和设备中进行着物理或化学的变化，具有高温、高压、有毒、易燃、易爆等特点，只有借助各种仪表来实现自动化生产，才能保证生产的稳定、可靠和安全。同时充分保证工作人员的安全，减轻劳动强度，改善工作环境。

自动化过程可以使生产保持在最佳的工况下，通过 DCS、PLC 等现代化控制实现精确控制、最优控制。

自动化的应用，还能有效地提高产品质量和数量，节约原材料和能源，降低成本，提高设备利用率，延长设备使用寿命。

自 20 世纪中叶以来，在工程和科学发展中，自动控制技术的应用起着极为重要的作用。导弹能够精确地命中目标，人造卫星能够按照预定的轨道运行并返回地面，宇宙飞船能准确地在月球着陆，并重返地球，都是由于自动控制技术的

发展。

自动控制技术在各个领域中的广泛应用，不仅提高了劳动生产率和产品质量，改善了生产劳动条件，而且在保护环境、发展空间技术和改善人们的物质生活方面都起到了极为重要的作用。

第二节　自动控制的基础知识

一、简单的自动控制系统

1. 自动化是如何实现的

在对锅炉汽包水位控制的分析讨论中，我们已经分析过自动控制的控制过程。

当锅炉汽包水位由于外界因素（出口蒸汽流量、给水压力等）发生变化时，锅炉汽包水位的测量变送器 LT 实际输出值就与希望值之间出现了偏差，控制器 LC 根据偏差大小、正负，输出对应的控制信号，执行机构根据控制信号改变阀门的开度。锅炉汽包水位测量值低于希望值，阀门开度变大，给水流量增加，锅炉汽包水位升高。反之锅炉汽包水位测量值高于希望值，阀门开度变小，给水流量减少，锅炉汽包水位降低，使锅炉汽包水位测量值与希望值趋于一致。

从上面的分析可以看出自动控制的过程：当控制系统测量环节输出的测量值与系统的希望值不一致，出现了偏差信号时，系统控制器就根据偏差的大小和正负，输出对应的控制信号，驱动执行机构采取具体的处理措施，消除或减少测量值与希望值的偏差，使测量值与希望值趋于一致。

图 1-2 给出了炉膛温度控制系统的构成及各部分的作用。

与锅炉水位控制系统的控制过程相同，控制器通过偏差输出控制信号去控制阀门开度，从而调节炉膛温度。

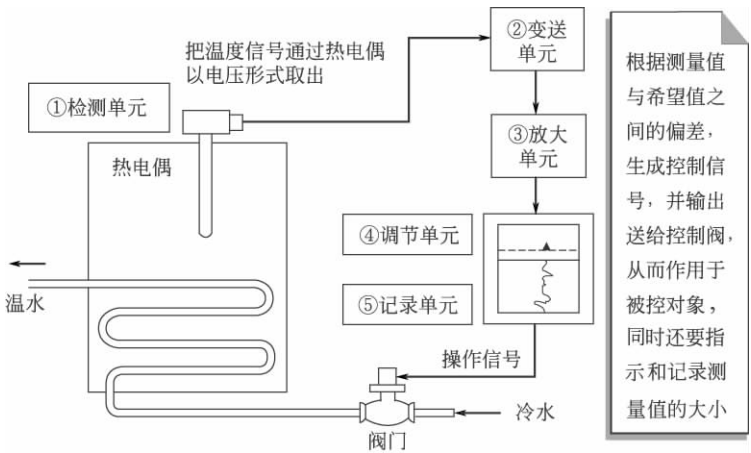


图 1-2　温度控制过程

2. 自动化的相关术语

① 被控对象：是被控制的工艺设备、机器或者生产过程。图 1-1 中被控对象是锅炉汽包。

② 被控变量：是表征工艺设备、机器或者生产过程运行是否正常而需要加以控制的物理量。图 1-1 中被控变量是锅炉汽包的水位。过程控制系统中被控变量常有温度、压力、流量、液位、成分等。

③ 扰动：在生产过程中，凡是影响被控变量的各种因素都是扰动（又称干扰）。图 1-1 中给水压力变化而引起水位波动是一种扰动，蒸汽负荷变化引起水位波动也是一种扰动。

④ 操纵变量（控制变量）：受控制装置（控制器）操纵，

能使被控变量保持在设定值而具体实施的物理量称为操纵变量。图 1-1 中锅炉汽包的给水量是操纵变量。

⑤ 测量变送器：如果发现扰动对被控变量有影响，观察被控变量是否维持在预定的设定范围内，这就需要利用测量元件对被控变量进行测量，并转换成一定的标准统一信号输出。图 1-1 中液位变送器 LT 是测量变送器。

⑥ 测量值：就是测量变送器的输出信号，必须是标准统一信号。

⑦ 给定值（设定值）：是一个与被控变量希望值相对应的信号值。与测量值类型相同，都是电流或电压信号。

⑧ 偏差值：在过程控制系统中，规定偏差值是给定值与测量值的差，即偏差值＝给定值－测量值。但在仪表制造厂中习惯取测量值与给定值的差，即偏差值＝测量值－给定值。两者的符号相反。

⑨ 定值控制系统：过程控制系统的给定值恒定不变。工艺生产中要求控制系统的被控变量保持在一个标准值不变，这个标准值就是给定值（或希望值）。例如图 1-1 所示的锅炉汽包水位控制系统就是定值控制系统。过程控制系统大多属于定值控制系统，引起系统输出信号（被控变量）变化的原因是各种扰动因素，系统的任务就是克服扰动对被控变量的影响。

⑩ 随动控制系统：随动控制系统也称为跟踪控制系统。系统的给定值无规律随时间发生变化。控制系统的任务是使被控变量尽快地、准确地跟踪给定值变化。例如军事领域使用的地对空导弹随机追踪空中目标。

3. 自动化控制系统的组成

自动化控制可以分为两大类系统，一类是开环系统，另一类是闭环系统。

若系统的输出信号对控制作用没有影响，则称为开环控制系统，系统的输出信号不反馈到输入端，不形成信号传递的闭合回路。例如化肥厂的造气自动机，工作时不管煤气发生炉的工况如何，自动机都周而复始不停地运转，除非操作人员干预，否则自动机不能自动地根据炉子的实际工况来改变操作，这是开环系统的缺点。开环控制系统结构如图 1-3 所示。

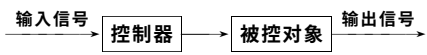


图 1-3　开环控制系统

闭环系统中必然要有反馈环节。所谓反馈是指把输出信号通过测量变送器又引回到输入端，反馈信号与给定信号相叠加，反馈信号取负值属于负反馈，反馈信号取正值属于正反馈。过程控制系统一般采用负反馈。例如图 1-1 所示的锅炉汽包水位控制系统属于闭环系统。在控制系统中，信号沿箭头方向传递，最后又回到原来的起点，从信号传递的角度看，构成闭合回路。

闭环系统采用负反馈，可以使系统的输出信号受外界扰动和内部参数变化而发生的变化小，具有一定的抑制扰动、提高控制精度的特点，开环系统不能做到这一点。闭环系统的突出优点是控制精度高，抗干扰能力强，只要被控变量的实际值偏离给定值，系统自动产生控制作用减少偏差。由于闭环系统靠偏差进行控制，在整个控制过程始终存在偏差，若控制元件的参数配置不当，容易引起系统振荡，系统不稳定，所以存在稳

定性与精确性的矛盾。而开环控制系统的结构简单，容易实现。

图 1-4 为简单控制系统的方块结构图。从图中可以看出自动控制系统主要由被控对象、控制阀、测量变送器、控制器四部分组成。

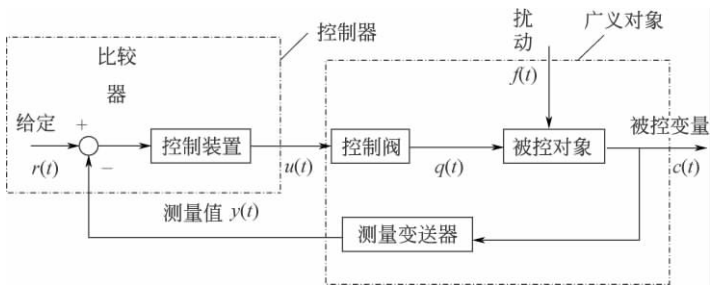


图 1-4　控制系统的方块结构图

① 被控对象，被控制的工艺设备、机器或者生产过程。输出信号是被控变量，用 $c(t)$ 表示被控变量随时间变化关系式。输入信号两个，分别为操纵变量 $q(t)$ 和扰动 $f(t)$，表示操纵变量随时间变化关系式及干扰随时间变化关系式。

② 控制阀（也称为执行器），具体实施操纵的执行装置。输出信号是系统的操纵变量 $q(t)$，化工生产中多为物料流量。输入信号是控制器的输出信号 $u(t)$。

③ 测量变送器，把被控变量转换成易于测量的量并转换成标准信号的装置。输出信号是系统的测量值 $y(t)$。输入信号是被控变量 $c(t)$。

④ 控制器，包括比较器、控制装置、给定装置，是对控制系统的信号进行比较、处理的装置。输出信号 $u(t)$ 驱动控制阀。输入信号包括测量值 $y(t)$ 和给定值 $r(t)$。