

自动控制基础 [II]

反馈控制元件

〔日〕稻田春政 著



新 时 代 出 版 社

自动控制基础(第二分册)

(反馈控制元件)

〔日〕 稻田春政 著

盛君豪 译

新时代出版社

内 容 简 介

反馈控制是由若干环节连接起来而构成的自动控制系统，构成反馈控制系统的元件大体上包括：测量被控对象状态的检测元件；将信号变换为适合于控制的信号变换、传送元件；将被检测出来并经过变换的信号和被控对象的状态进行比较后作出判断并进行修正的调节器；使被控对象实现预期动作的操作元件；指示、记录仪。

本书将组成反馈控制系统的各种元件分为过程控制元件和伺服机构元件两大类，系统地介绍了各种典型元件的工作原理、构造和特征。

本书是一部关于自动控制基础的入门书，可供具有中等以上文化程度的广大读者自学之用，也可供从事自动控制技术的人员和大专院校有关专业的师生参考。

自動制御の基礎〔Ⅰ〕

フィードバック制御の機器

稻田春政 著

理工学社 1978

自动控制基础(第二分册)

(反馈控制元件)

〔日〕 稻田春政 著

盛君豪 译

新时代出版社出版 新华书店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米 32开本 7印张 145千字

1984年1月第1版 1984年1月北京第1次印刷

印数：00,001—11,500册

统一书号：15241·32

定价：0.74元

前 言

自从人们将自己所处的时代称为自动化时代以来，已经过去了许多年月。目前，自动化技术已经相当成熟，成为现代社会的一项不可缺少的技术。

以实现无人化生产为目的“自动控制技术”和以电子计算机为中心的“信息处理技术”，是自动化技术的两个主要分支。

自动控制技术涉及到机械、电气、化学等许多基础技术，其内容很广泛，不易全面掌握，而关于这方面的有趣而通俗的读物目前并不多见。

作者稻田春政根据自己多年从事自动控制教育所积累的宝贵经验，本着使读物通俗易懂，又能使读者在学习时发生浓厚兴趣的想法写成本书，这的确是一件可喜的事情。作者的这种想法，已在他认真地将基础知识整理、总结并和实际应用结合起来的通俗易懂的文字说明中体现出来了。

本书不仅适用于在自动化领域工作的科技人员阅读，并且可作为一本自动控制的常识性读物供其他科技工作者参考。

大阪大学教授 工学博士

藤井克彦

1978年4月

125264

绪 论

好多年以前人们就把自己所处的时代称为自动化时代，目前我们深感自动化已真正来到了我们的中间。只要注意一下我们周围的一切，就能感到自动化所带来的好处。

自动化不仅适合于以合理化为目的的生产部门，而且适用于其它所有部门。

自动化技术由自动控制和应用电子计算机的信息处理两个技术分支所组成。

自动控制也称为自动化技术和自动操作，这是一种由控制装置代替人类的头脑和手足的作用而实现无人化目的的技术。自动控制可使人摆脱危险场所的工作和连续紧张的劳动，从而在某种意义上使人类在肉体和精神上的地位得到提高。

自动控制包括顺序控制和反馈控制。顺序控制的动作是一步一步进行的可靠的自动控制，它既适用于在火车站等场所可以看到的自动售货机和大楼的电梯等简单装置，也适用于钢铁和汽车生产等大型工业的自动控制。反馈控制是一种将操作结果不断返回到输入端，并对结果进行修正的准确而可靠的自动控制。这种控制常见于飞行器和船舶等的舵机自动操纵装置以及石油精炼和化学药品工业等的设备中。

本书属于自动控制的入门书，所以采用较多的插图，以使读者能通过插图获得较多的知识。此外，将同一类元件编排在一起，根据结构原理图说明它们的工作原理、构造、特征、应用等，这有利于掌握所学知识。

本书共分三册，其中第一册介绍自动化的基础知识和顺序控制。第二册介绍反馈控制元件，包括过程控制的元件和伺服机构的元件。第三册介绍反馈控制理论，主要讨论反馈控制及其环节的特性，环节的结合和特性，控制系统的稳定性及其判据。

本书以介绍本专业必需的基本知识为主，尽量避免高深的理论。对于要了解较多理论知识的读者，可阅读本书第三册。对于需要学习更高深理论的读者，也可以本书作为阶梯，以便学习更高级的专著。

著 者

1978年4月

目 录

第一章 过程控制的元件	1
1.1 检测元件	4
1. 温度检测元件	7
2. 压力检测元件	15
3. 流量检测元件	23
4. 液位检测元件	29
5. 其它检测元件	33
1.2 变换元件	36
1. 基本变换元件	37
2. 基本的变换、传送器	39
1.3 调节元件	46
1. 调节器和控制动作	47
2. 电气(电子)式调节器	52
3. 气动调节器	65
4. 运算器及其控制动作	79
5. 程序设定器	84
1.4 指示、记录仪及其机构	88
1. 电气式指示、记录仪	91
2. 气动式指示、记录仪	92
1.5 操作元件	95
1. 调节阀的构造	97
2. 调节阀的流量特性	101
3. 调节阀的种类	105
练习题	111
第二章 伺服机构的元件	117
2.1 检测元件	120

V

1. 电气类检测元件	120
2. 机械（或机构）式检测元件	133
3. 液压系统检测元件	138
4. 偏差检测回路（或装置）	140
2.2 放大元件	145
1. 电气系统放大元件	146
2. 液压放大元件	187
2.3 操作元件	189
1. 电气系统操作元件	189
2. 液压系统操作元件	198
练习题	201
附录 国际单位制（SI）及其使用方法	206

第一章 过程控制的元件

将被控量检测出来和目标进行比较，如有差值就进行修正而使目标值和被控量一致的自动控制，就是反馈控制。因此，对于因干扰●而使被控量经常变化的情况，以及对于要求跟踪目标值的变化等的控制，要想得到正确的高精度的控制结果，就必须采用反馈控制。

反馈控制包括：以过程工业为主的过程控制和以机械工业为主的伺服机构。这两者虽然都属于反馈控制，但控制对象、控制系统的构成元件以及在系统中传递的控制信号、控制目的和控制内容等各方面都有所不同。表 1.1 中列出了这两种控制的比较。

表1.1 过程控制和伺服机构的比较

	过 程 控 制	伺 服 机 构
定 义	控制量为过程状态的自动控制系统	控制量为机械位置的自动控制系统
目标值、被控量	温度、压力、流量、液位、湿度、pH 值等	位置、方向、状态等
控制时间的变化	比较缓慢（以分、时、日计算）	快（以秒、分计算）
信号的种类	电信号、空气压力	电信号、液压

● 所谓干扰，就是扰乱控制系统状态的外部信号。

在反馈控制系统中传递的信号，一般为连续变化的模拟量。常用的有：传递速度快且容易处理的电气信号；容易获得压力源并适用于防爆的空气压力信号；装置的体积小但能获得很大驱动力的液压信号等。

具有良好控制性能的反馈控制系统，都是由各种元件组合而成的。如图 1.1 所示，控制系统的构成环节包括：将被控量正确测量出来的检测环节（即反馈环节）；将被测出的信号状态返回来以便可靠地进行修正操作的调节环节；根据调节环节的指令而对被控对象进行必要操作的操作环节等。

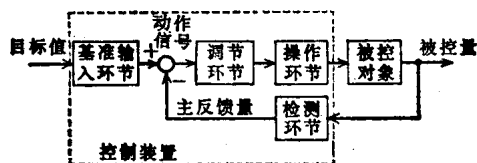


图1.1 反馈控制系统及其方块图

在本书第一章中介绍作为反馈控制的过程控制元件，在第二章中介绍伺服机构的元件。按机能对它们进行了分类，并分别介绍了其中有代表性的元件。

过程控制是采用流程装置来实现生产过程自动化的技术。在生产车间中一般采用使生产工程的条件保持一定●或按规定时间变化的程序●进行的控制。

在过程工业的操作过程中，装置内部的制造过程完全是自然现象（即反应和相的变化）。要人为地得到这种过程，必须规定原料和能量的供给量以及制品的取出量，调整装置内

● 称为定值控制。

● 称为追值控制，特称这种控制为程序控制。

部的环境条件，以便制造出符合质量要求的制品。这样的控制就称为过程控制。图 1.2 所示为过程工业的测试仪表集中控制盘。



图1.2 过程工业的测试仪表集中控制盘

通过过程控制来处理的被控量中，以温度、压力、流量、液位等为最多。这四个被控量是在大多数情况下都要处理的量，因此被称为过程控制的四大变量。

除此以外，经常需要处理的量还有湿度、比重、浓度、粘度、pH 值、密度等，这些量中有的与物质的组成和质量有关，有的与操作的效率有关。

过程控制中所处理的被控量的种类很多，在一般情况下，如不首先将这些量转换为其它量，往往就很难处理。为此，在用检测-变换器对被控量正确地进行精确测量的同时，还必须将它们变换为便于进行控制的电气信号或空气压力信号。接受这些信号的调节器，根据信号的状态，将符合控制结果要求的信号送到与其连接的操作部分。

过程控制的操作部分，一般包括调节阀、电动机和其它执行元件。这些操作元件根据来自调节器的信号来驱动被控对象，最后得到所要求的被控量。

按上述步骤进行的过程控制在石油、药品、纤维、造纸、化肥、钢铁工业等这些有代表性的过程工业中得到广泛应用。

1.1 检测元件

反馈控制的特点是：将被控量的状态测量出来并和目标值进行比较，如有差值就进行修正。这是一种可靠的自动控制。为了得到满意的控制结果，首先必须准确地知道被控量的状态。

这里所用的检测器具有相当于人体上的眼、耳或触觉器官等。在人的日常生活中，如果感觉器官不灵敏，便不会有正确的动作。同样，对于自动控制，如果不能正确地检测被控量的状态，也就不能进行控制。因此要求检测器的精度和灵敏度高，时间滞后小。图 1.3 所示为在过程控制系统中检测环节的位置。

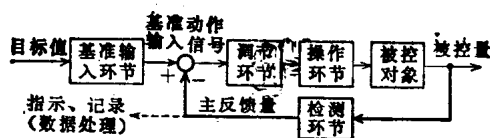


图1.3 在过程控制系统中检测环节的位置

另外，一般地说，作为被控量的过程变量，如果我们不首先改变其状态而直接把它用作控制系统的信号，那么在多数情况下都是不合适的。例如，在控制温度时，如果利用依

靠温度所保持的热能来动作的双金属片或热继电器和热膨胀式压力开关等，都不大容易得到十分满意的结果。所以除了特别简单的自动控制外，一般不采取对被控量直接进行控制的方式。

在多数过程控制中，一般都要把通过检测器检测的信号首先变换成便于控制的信号。这里所说的便于控制的信号，包括位移、压力、电压（或电流）、阻抗等，它们都是一些比较容易放大和变换的量。因此，在仪表工业中主要采用这些信号。正由于对这些量进行控制时很方便，故称为标准信号。

依靠适当的检测器所得到的信号而动作的调节器和记录仪，与被控量的种类和状态无关。因此，只要改变仪表的刻度，便可统一使用同样的仪表。这样，不仅维护、检修都很方便，而且对以后仪表的更换等也是有利的。

图 1.4 中示出了各种控制信号和信号的处理。

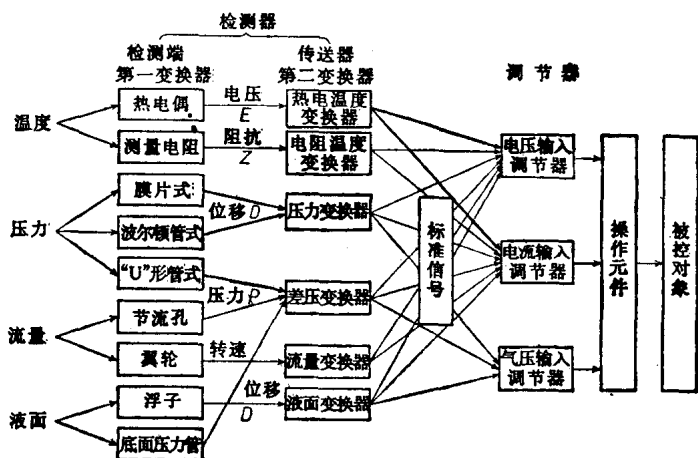


图1.4 各种控制信号和信号的处理

用来检测被控量并将其变换为便于控制的信号的元件，统称为检测器。另外，在构成控制系统时，也可根据检测器的元件的机能再细分：直接与各种被控量接触的部分称为检测端，把被控量变换为标准信号的部分称为变换器，而检测

表1.2 标准信号及其特征

位 移	D	机 械 量	这是一种最简单、最易处理的信号。传递中无滞后，利用位移的变换元件很多
压力 (空气压力)	P	机械量 (例如： $0.2 \sim 1.0 \text{ kg} \cdot \text{f}/\text{cm}^2$ 或微压)	在传递信号时有一点滞后，但后续元件能够得到很强的驱动力。由于配管不好而引起的空气泄漏不会发生危险
电压 (电流)	E	电气量 (例如， $\text{DC}1 \sim 5\text{V}$ ， $\text{DC}4 \sim 20\text{mA}$)	信号的传递无滞后，信号的变换、传送等处理容易，所以变换元件种类很多
阻抗	Z	电气量 (电阻、电感、电容)	信号的传递无滞后，信号的变换、传送等处理容易，所以变换元件种类很多

端和变换器组合成一体的称为发信器，把由发信器输出的信号变换为标准信号然后传送给后面的仪表的元件称为传送器。由于发信器和传送器都具有将信号放大并转换为其它变量等机能，所以将它们统称为变换器(transducer)。

图 1.5 所示为一种实际应用的压力指示传送器。

将来自检测端的压力信号送入被绕成盘状的测

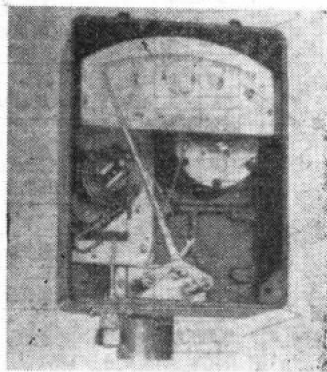


图1.5：指示传送器的内部构造

量元件波尔顿管中，波尔顿管在压力作用下产生伸缩变形，这种变形通过杠杆机构而由指针指示出来，同时传给变换器，将位移变换为电流。

在自动控制中，信号的变换是工业测量技术的一个重要组成部分。

1. 温度检测元件

测量和控制温度是生产车间操作自动化的重要一环。

温度检测器（包括仅作温度测量的检测器）的数量达工业测量仪生产总数的 40% 左右。

测温原理大致可分为两类：

① 接触法：和被测温体直接接触而吸收被测温体的能量的检测方法（参见表 1.3）。

② 非接触法：不和被测温体直接接触而利用其放射能

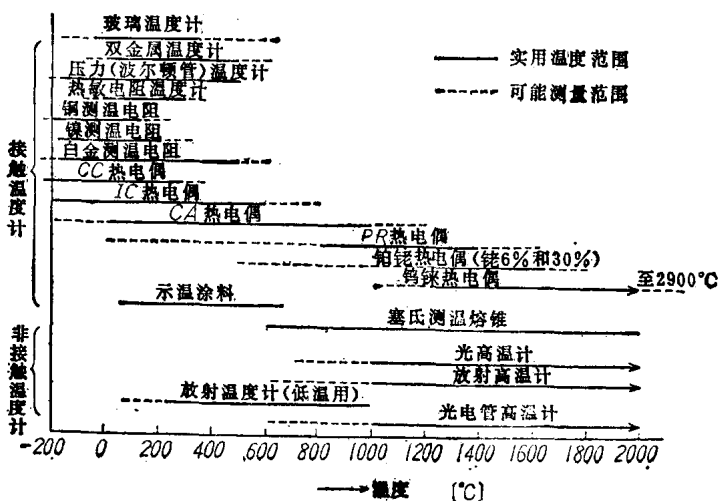


图1.6 温度检测器的测量范围

的测量方法 (参见表 1.4)。

图 1.6 所示为温度检测器的测量范围。

另外, 温度的基本刻度为热力学温度 (开尔文温标 [K]), 但这在实用上不方便, 所以一般采用国际温度刻度 (摄氏温标, $^{\circ}\text{C}$)。

国际温度刻度为: 在 1.013250bar 的气压下纯水的冰点 (273.15K) 为 0°C , 沸点为 100°C , 其间分成 100 等分, 并向其前后延伸。

表1.3 应用接触法的温度检测器

〔测温电阻 I〕

〔原理〕 当温度升高时, 白金和铜等金属的电阻值也会增大, 利用这个性质将温度变换为电阻值, 这种检测温度的元件就称为测温电阻。

市售测温电阻大多为在 0°C 时的电阻为 100 欧或 50 欧, 这个值称为公称电阻值, 即

$$R_t = R_0 (1 + \alpha t + \beta t^2)$$

式中 R_t —— $t^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值 (欧);

R_0 —— 0°C 时的电阻值 (欧);

t ——温度 ($^{\circ}\text{C}$);

α, β ——温度系数。

基准电阻元件的 R_t/R_0 值

t	0	50	100
白金	1.0000	1.1970	1.3910
铜	1.0000	1.2125	1.4250

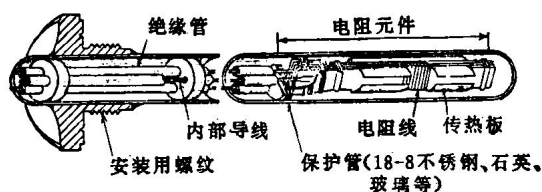
〔说明〕 白金测温电阻元件是用 0.05 毫米的电阻丝绕在云母板上构成的。为使元件不受外部环境的影响, 将它放在一个不锈钢的保

护管内。

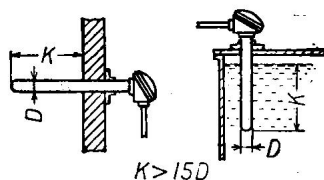
测温电阻用于检测 $-200 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 的较低温度, 检测灵敏度并不高, 但其精度很好。

大多用作冷暖房等的空气调节和常温附近的温度检测器。

安装时应注意使电阻元件能充分传热。下图中示出了安装时的注意事项, 插入深度应为管径的十五倍以上。

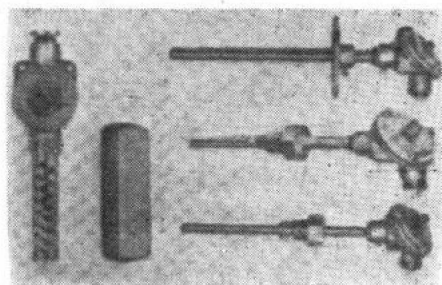


测温电阻管的内部构造



(a) 室内用; (b) 安装用

测温电阻管的安装



测温电阻管的种类