

自动控制

和仪器基础

〔美〕约翰·D. 伦克 著



新 时 代 出 版 社

自动控制和仪器基础

〔美〕约翰·D. 伦克 著

姚基千 王狄威 译

新 时 代 出 版 社

内 容 简 介

本书以叙述方式讲解现代控制系统、传感器及测试仪器的基本作用原理。全书共分十章，重点在讲述各种控制系统中的各类传感器及其应用。

第一章是自动控制系统的概述。第二章到第六章综述了现代控制系统中所采用的各种传感器，其中包括有：运动、力、流体、加速度、姿态、位移、速度、应变、流量、压强、液面高度、湿度、潮气量、光、放射性、温度和声音等传感器。第七章总结了各种传感方法并讲述了一些特殊传感器，其中包括测量厚度、接近度、液体密度和化学含量等。第八章到第十章分别讨论了自动控制系统中的测量仪表、控制器和基本测试仪器。

本书的特点是完全不用高等数学和复杂的公式。读者只要具备初等数学、力学和电学的一般知识就可以理解全部内容。适于自学。

本书可供大、专学校非本专业的师生、广大工业企业管理人员和中等水平的技术人员作为学习现代自动控制和仪器的入门参考书。

HANDBOOK OF CONTROLS AND INSTRUMENTATION

John D. Lenk

Prentice-Hall, Inc. 1980

*

自动控制和仪器基础

〔美〕约翰·D. 伦克 著

姚基干 王狄威 译

责任编辑 陈子玉

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 12.75印张 268千字

1984年10月第1版 1984年10月北京第1次印刷

印数：00,001—13,000册

统一书号：15241·41

定价：1.55元

译 者 序

原书以通俗易懂的叙述方式介绍现代自动控制系统及其传感元件。重点在讲解各种类型的传感器。很适合非控制专业的大专学生以及企业管理人员自学和参考。

在我国社会主义现代化的建设工作中，各行各业都必然会遇到自动控制的技术问题。广大职工群众和管理人员也都十分需要了解一些自动控制的基本知识，才能顺利开展工作。这本书的特点是完全不用高等数学，因而使很多读者易于学习和掌握。

为了使读者对应用自动控制系统的目的和自动控制基本概念的来源有所了解，译者在第一章开始一段中补充了一个日常生活常见的例子并加以简单的解释。其中所采用的技术术语都是自动控制教材中通用的。

全书译文力求叙述通俗、讲解明确，期望适合于一般学生和职工自学。但由于译者水平有限，错误和不妥之处在所难免，敬希读者给予指正。

译 者

绪 言

本书以叙述的方式讲解自动控制系统和测试仪器的基本作用原理。虽然自动控制系统和测试仪器采用的部件种类很多，但各种系统和仪器的基本原理是相似的。例如，自动机车发动机的喷油系统需要用几个传感器来监测该发动机运转工作和驱动工作的状态（如压力、工作高度、转动速度等）。从这些传感器送出来的信息又通过计算机或类似的装置（如微处理器、控制器等）而变换成控制信号。这些信号再变换为控制发动机性能的各种指令。这就是说，用各种指令来调节燃料、油气混合比例、燃料耗量、燃料流速等等。因此，不管发动机怎样经常地改变工作环境和条件，人们总是可以控制它并且能把它调整到最好的运转状态。

对生产过程进行自动控制也可采用类似的传感元件和技术。当然，工业生产与自动机车相比，它们所使用的传感器、控制器和执行器等实物的外形可能不一样，但同类型的传感器和控制器的基本原理在不同的自动控制系统和测试仪器中却都能应用。因此，本书将集中精力阐述自动控制系统和测试仪器的基本工作原理。当人们理解了基本知识后，则容易运用这些原理来适应各种系统工作的需要，其中包括工业生产、自动机车和飞机等系统。

各种实用的控制系统都有适合本身具体要求的仪器和装置。每类系统也还有多样的变化。显然，在一本书内讨论所

85/0018

有的系统和仪器是不切实际的。我们只选择一些有代表性的系统和装置作为讨论的内容。对这些有代表性的系统,我们采用简化的形式来讲清楚它们的工作原理,并说明这些基本原理是能够适用于各类系统和装置的。本书内容并不适于深入的研究工作,因为那样需要用较深的数学和其它科技基础知识,这将会超出本书主要读者对象的能力范围。因此,本书完全没有复杂的数学公式,而只用单纯叙述的办法来讲解。

由于很多自动控制系统和测试仪器是电气的、电子的、机械的、液压的、气动的、或者是其中几种的组合体,所以读者应该有一些初步的电学知识和电子学知识。在力学、水力学和气体力学方面若有一些基本知识也是好的,但这并不是主要的问题。

第一章是自动控制系统的概述。从第二章到第六章综述了现代控制系统中所采用的各种传感器,其中包括:运动、力、流体、加速度、姿态、位移、力矩、速率、速度、应变、流量、压强、液面高度、湿度、潮气量、光、放射性、温度和声音等的传感器。第七章总结了各种传感方法并讲述了信号调整线路。这些线路能够把传感器送出来的信号变换为适用的信息。第七章还包括有一些特殊的传感器,可用来测量厚度、接近度、液体的密度、比重和化学含量(含酸度/含碱度、气体分析)等。第八章叙述了自动控制系统中测量仪表的作用。第九章讨论了基本的控制器。第十章叙述了基本的测试仪器。

目 录

绪言	VI
第一章 自动控制系统的概述	1
1-1 典型的工业自动控制系统	5
1-2 自动控制系统的类型	9
1-3 基本不连续的开环控制系统	9
1-4 基本连续的开环控制系统	10
1-5 基本不连续的闭环控制系统	11
1-6 基本连续的闭环控制系统	13
1-7 先进的闭环控制系统	15
1-8 各种传感器或敏感元件	18
1-9 测量和信号调整	18
1-10 控制执行器	19
1-11 测试仪器	19
第二章 运动和力的传感器	21
2-1 敏感运动和敏感力的方法	21
2-2 直线运动传感器	22
2-3 转角运动传感器	27
2-4 转动速度传感器	30
2-5 压力传感器	33
2-6 张力传感器	40
2-7 力矩传感器	40
2-8 加速度和振动传感器	41
2-9 加速度传感器 (加速度计)	46
2-10 姿态传感器	56

第三章 流体传感器	70
3-1 流体流动传感器	70
3-2 流体压强传感器	78
3-3 液面高度传感器	90
第四章 潮气量和湿度传感器	96
4-1 潮气量和湿度的测量基础	96
4-2 测潮仪型传感器	98
4-3 湿度计式传感器	103
4-4 露点传感器	106
第五章 光和放射性传感器	110
5-1 光传感器	110
5-2 X射线传感器	123
5-3 核辐射传感器	123
第六章 温度传感器	134
6-1 敏感温度的基础	134
6-2 双金属片温度传感器	136
6-3 流体压强式温度传感器	140
6-4 电阻式温度传感器	142
6-5 热电偶式温度传感器	148
6-6 辐射高温计	151
6-7 振荡晶体式温度传感器	153
第七章 各种敏感方法的总结	154
7-1 基本的测量系统和控制系统	154
7-2 基本的变换器定义和变换方法	156
7-3 基本的信号调整线路	164
7-4 厚度传感器	184
7-5 接近度传感器	191
7-6 密度和比重传感器	195
7-7 化学传感器	198

7-8 声音传感器	202
第八章 自动控制系统中的测量仪表	209
8-1 模拟仪表基础	210
8-2 数字式和差动式仪表基础	236
8-3 桥式测试设备	244
8-4 计时器	249
8-5 计数器	258
8-6 电子计数器	261
第九章 基本的控制装置	280
9-1 开关和继电器	280
9-2 电动线圈和电动机	296
9-3 阀门和流体起动器	323
9-4 电子控制装置	330
9-5 典型的电子控制的应用	346
9-6 其它各类控制装置	356
第十章 基本的测试仪器	366
10-1 传送器	367
10-2 记录器	373
10-3 同位仪、同步器和自动同步器	378
10-4 控制器	383
10-5 读取器和指示器	391

第一章 自动控制系统的概述

应用自动控制系统的目的主要有两点。一是在人类生产和生活中，应用自动控制技术可以解脱繁重的、单调的、低效的人力劳动，以便提高生产效率和提高生活水平。二是对现代生产中很复杂的或极精密的工作，用人力不能胜任时，应用自动控制技术就可以保证高质量地完成任务。但是，自动控制的基本概念是来源于人力控制的。

人体本身，包括眼、耳等敏感器官，脑子和神经等控制器官，以及肩、臂、手、脚等操作执行器官，就是天生的一个具有高度控制能力的系统。举一个简单的例子如下：

人用手把在球台上缓慢蹦跳的乒乓球准确地抓住。这是一个十分常见的现象，但它表现了人力控制的过程。用方框图来表示这种人力控制过程使我们很容易了解控制作用的关系，如图1-01所示。

控制的目的：用手去抓住乒乓球。被控制的对象：手。控制要求：手位置接近球位置。控制作用的过程：人用眼睛观测手位置与球位置，并用脑子比较判断，从而感觉到手位置与球位置偏差距离的大小和方向。这个过程就是人的检测器官通过测量与比较而敏感到手位置（即被控变量或叫做输出量）与球位置（即参考变量或叫做输入量）之间有偏差存在。这个偏差信号送到脑子（即控制器官）里后，脑子就根据偏差信号的性质（一般是偏差量的大小和方向）而发出指

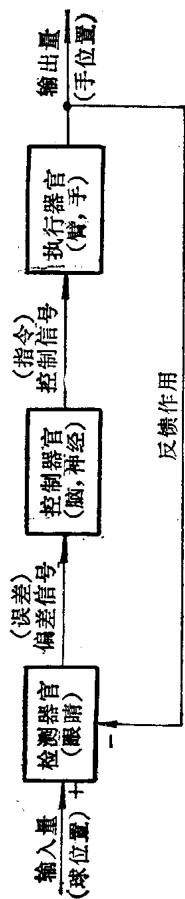


图1-01 人力控制的方框图

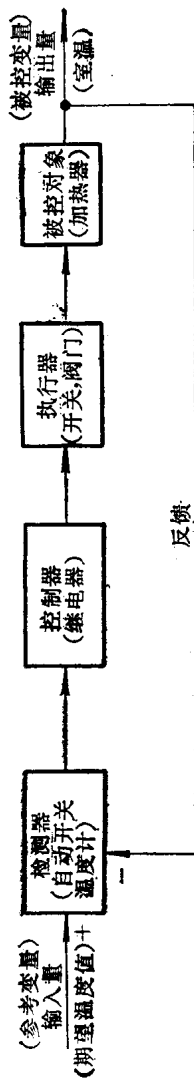


图1-02 自动控制系统的方框图

陈

令，来控制肩、臂、手、脚动作，从而使手位置接近球位置，使偏差减小。检测器官连续敏感到这减小了的偏差并把偏差信号再次送到脑子里，脑子又发出指令，来控制手位置更接近球位置，并使偏差再减小。只要能检测出偏差存在，上述控制作用的过程就一再重复进行。当手抓到乒乓球时，偏差减小到零（或接近于零），人就完成了用手抓球的控制过程。当然，实际上控制手抓住球是很复杂的过程。但上述简明的控制过程却表达了基本的控制作用原理。

应该仔细注意到控制过程中的相互作用关系。脑子可以控制手位置的变化，但是怎样才能使手接近球呢？闭着眼睛也可以用脑子来控制手移动，但却不能使手抓到球。只有先用眼睛看到手位置与球位置的偏差，再用脑子比较、判断该偏差的大小和方向，这样才能作出正确的指令，来控制手位置变化，使偏差逐步减小，而使手抓到球。因此，检测器官的作用是十分重要的。检测器官的测量与比较作用就是控制过程中最重要的第一步。当然，缺少了控制器官或执行器官也是不能实现控制作用的。

从图1-01中可看到，每个方框环节都有输入信号（箭头指向进入方框 $\longrightarrow \square$ ）和输出信号（箭头指向离开方框 $\square \longrightarrow$ ）的顺向作用关系。但是输出量手位置（即被控变量）却有一个反馈作用箭头。正是这个反馈作用才使输出量手位置与输入量球位置可以在检测器官中进行比较，从而得到了偏差信号。因此，反馈是一个很重要的概念。由于检测器官对所接收的两种信号只有综合叠加的能力，因此，要得到手位置与球位置的差值，就必须使反馈信号相对参考信号来说具有负向作用才行。这就是所谓的负反馈。要注意，负反

馈才可能使偏差逐步减小，正反馈则不能。

由于采用负反馈，使输出量又转回送到检测器官，从而形成了控制作用的闭合环路。这就是所谓的闭环控制。在自然界中各种生物控制本身运动的基本规律都是闭环控制作用。自动控制的基本概念也是由此而来的。

所谓自动控制，就是利用机械的、电气的或光学的装置代替人力控制器官的作用。在不用人力直接参与的情况下，可以自动地实现预定的控制过程。图1-02所示的是一种自动控制系统的方框图。现以恒温箱（即烘箱）或住房供暖设备的温度自动调节器为例说明恒温自动控制系统的工作原理。这是最容易理解的。

输入量（参考变量）：烘箱或屋内温度的希望值。输出量（被控变量）：实际烘箱或屋内的温度。被控对象：加热器（电炉丝或煤气炉）。执行器：继电器开关（电门或阀门）。控制器：继电器（或执行电动机）。检测器：自动开关温度计（双金属片式）。

这个恒温控制系统的输入量——温度希望值——是由人预先把所需要的温度调定在自动开关温度计上的（例如需要屋内温度保持为 20°C ，就把恒温调定针转到 20°C 的位置）。如果屋内温度下降低于 20°C 时，自动开关温度计使继电器线圈电路接通，继电器打开燃料阀门并使煤气炉点燃，屋内温度则开始升高。当屋内温度到达 20°C 时，自动开关温度计又断开继电器电路，继电器使燃料阀门关闭并熄灭煤气炉。这样自动重复地接通和断开煤气加热炉，从而使屋内温度保持在所需的温度（ 20°C ）。

从这个恒温控制系统中，我们容易体会到自动控制的基

本概念是来源于人力控制的。但是，由于科学技术的飞速发展，使各种自动控制装置的性能远远超过人力控制器官的能力。最初的光学镜头是模仿人的眼睛而做成的，但用新技术做成的光学装置却远远比人眼的能力强得多。例如天文望远镜看得很远，显微镜看到极微小的东西，航空照相机在几百公里高空对地面摄影十分精确清晰。这些都是凭人的眼力不能做到的事。光电敏感元件和快速电子线路的作用也比人的视神经系统灵敏得多。由此可见，从模仿自然界生物的功能所获得的控制概念，通过科学技术的作用，人们可以创造性地做成了更灵敏的、更精确的、更有能力的自动控制装置。特别是检测器，即测量敏感元件，更发展得多种多样。它们能够敏感各种物理量（例如敏感温度、压力、力矩和加速度等）。由于测量敏感元件通常都有传送信号的作用，所以，这些敏感装置也叫做传感器。

各种传感器在自动控制系统中都起着十分重要的作用。有了精确的传感器做基础，就容易组成各种不同用途的自动控制系统。因此，研究和发展各种新传感器是搞好自动控制系统最重要的基础工作。多了解各类传感器的作用，也有助于灵活运用自动控制系统。

除了传感器之外，控制器的发展也起着很重要的作用。微型计算机和微处理器的发展，已经使它们成为现代控制系统中不可缺少的组成部分。计算机就是更完善的控制器。有关微型计算机技术的问题可查阅计算机手册。

1-1 典型的工业自动控制系统

自动化精炼石油的工厂可以作为例子来说明一个比较复

杂的自动控制系统。这种系统的基本环节如图1-1中所示。在精炼石油的生产线上有许多地方都安装了各种各样的专用装置，这些装置就叫做传感器或敏感元件。利用这些传感器测量生产过程中各种变量的状态。典型的生产过程变量有：精炼石油的温度、压力、流速、化学成份、密度等等。为了保证石油流动通畅无阻，并保证精炼油的产品质量合格，当变量超出了正常测量值范围时，也就是出现了偏差时，必须立刻改正才行。例如，出现了不正常的温度或不正确的压力等情况，都必须立即调节改正。

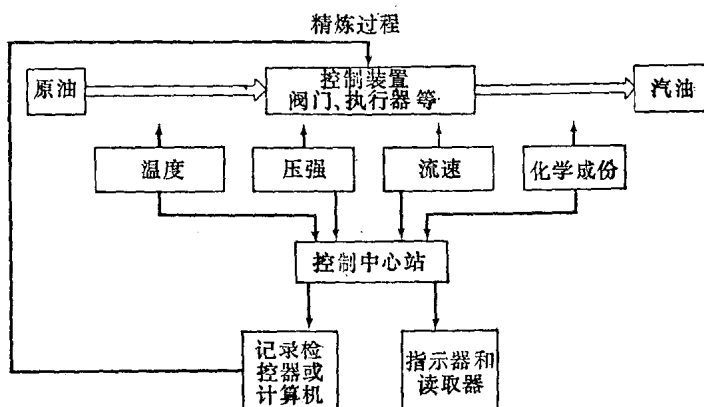


图1-1 精炼石油自动控制系统的基本环节

每个传感器的输出量都要变换成为相应的信号，并传送到控制中心站。这就是说，一个生产过程变量（如温度、压力等）必须变换成为对应的电信号，而且这种电信号应该是控制中心站能够接受的才行。

有两种基本类型的控制中心站。在简单的控制系统中常采用记录检控器。记录检控器能打印出某一过程变量连续变

化的记录，并能把这个变量与该阶段生产过程变量的希望值进行比较。变量的希望值也叫做标准值，通常也叫做调定点。若该过程变量相对标准值有偏差时，记录检控器将产生一个输出信号，这个输出信号可以表示出该偏差量的大小和方向。这就是说，输出信号可以表示出过程变量的状态比调定点的值是高了或是低了，以及高了多少或低了多少。记录检控器根据该偏差信号的性质，即根据偏差量的大小和偏差的相位，又产生出控制信号传送到电磁阀门或电动机构等执行器里，执行器的动作使该过程变量趋近于标准值并逐步减小偏差，一直要恢复到标准值范围内为止。

在精炼石油这样大规模的自动控制系统里，其生产过程各变量之间都有较复杂的相互影响关系。这意思是说，如果某个变量变化了，则这个变化常常影响到所有其它的变量。例如，一个精炼油罐内液体温度的增高可能使罐内液体的压强也升高。因此，当一个变量改变时，所有检控器的调定点都应该重新调整，以便补偿它们的变化。然而，相互影响的关系是很复杂的，既或对有经验的操作人员来说，也不可能把所有需要重新调整的东西都搞到最高效率和最有利的运行状态。

在较复杂的自动控制系统里常采用图1-2所示的数字计算机作为控制中心站。可以用通用大型计算机，也可用新型或小型的微计算机。无论采用那种计算机，从传感器送来的信号都要变换成为数字式输入量才能被计算机所接受。这就是说，某物理量(压力、温度等)先由传感器变换成某种电信号，随后，这个电信号再变换成数字量才适合计算机工作。

由于计算机的计算速度很高，所以它能立刻算出各变量

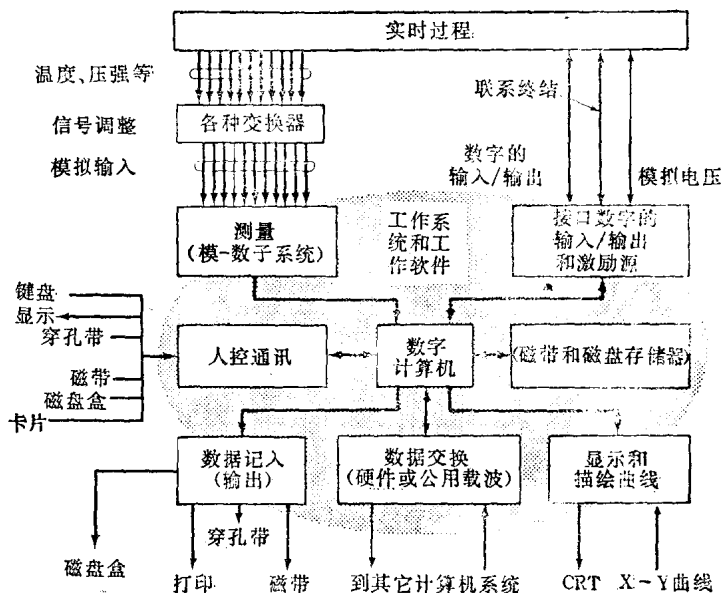


图1-2 休利特-帕卡德 (Hewlett-Packard) 9600 型
自动测量和控制系统的方框图

相互影响关系中每个变化的影响，并且能很快产生输出信号来调整每个检控器的调定点，以期达到最高效率的工作状态。

在更复杂的自动控制系统里，计算机常常完全取代了老式的记录检控器。在这种先进的系统里，计算机可连续打印出每个过程变量的状态，把不同的调定点都存入存储器里，并按照要求搞好调定点。然后，计算机把从传感器送来的信号与新调好的调定点进行比较，根据其偏差信号的性质又产生出控制信号，并把合适的控制信号送到对应的执行器里。