



高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材

自动控制系统 原理与应用

李琳 主编



赠送
电子课件

清华大学出版社



高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材

自动控制系统原理与应用

李 琳 主编

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

全书共分为 5 个项目,通过项目中任务的进程,将经典控制理论逐级展开。

项目 1 介绍了定性分析自动控制系统所需的基本知识。项目 2 和 3 介绍了定量分析自动控制系统所需的基本知识和自动控制系统的时域性能指标内涵。项目 4 介绍了自动控制系统的工程分析方法、基本知识、问题产生原因与改善调试自动控制系统的基本控制规律。项目 5 是一个综合实例,通过该实例介绍了伺服控制系统的特点、系统组成、性能要求与调试方法等,它是对本书项目 1~4 所学理论知识的综合应用。

本书可作为高职高专电气自动化专业、机电一体化技术专业、数控系统维护专业和机械制造与自动化专业的教学用书,也适用于成人高校、职工大学、函授大学的相近专业,并可供从事自动化技术的工程技术人员参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

自动控制系统原理与应用/李琳主编. —北京:清华大学出版社,2011.4
(高职高专电气及电子信息专业技能型规划教材)

ISBN 978-7-302-25041-8

I. ①自… II. ①李… III. ①自动控制系统—高等职业教育—教材 IV. ①TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 031804 号

责任编辑:李春明 郑期彤

封面设计:山鹰工作室

版式设计:杨玉兰

责任校对:王 晖

责任印制:杨 艳

出版发行:清华大学出版社

地 址:北京清华大学学研大厦 A 座

<http://www.tup.com.cn>

邮 编:100084

社 总 机:010-62770175

邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185×260 印 张:13.75 字 数:325 千字

版 次:2011 年 4 月第 1 版 印 次:2011 年 4 月第 1 次印刷

印 数:1~4000

定 价:28.00 元

产品编号:039776-01

前 言

“自动控制系统原理与应用”是一门理论知识综合应用极强的专业基础课程，其所具有的科学方法论的特点是一般专业基础课程或专业课程所不具备的。因此，有效利用本课程所具有的学科特点，结合职业教育的职业性、实践性和开放性是本书构建学习领域的知识内容与教学目标的基本理念。

本书在内容的编排上以实际自动控制系统的维护、故障排除和性能调试为主线，抽象并模拟了自动控制系统实际的调试与维护过程，以及分析问题思维方法的形成过程与理论知识的应用过程，通过建立与实践活动相对应的知识点与能力点的有机联系，修正了以往同类教材中“理论够用”却无定论，导致理论知识杂乱无序的弊端，为工程实践与理论知识的有机结合做了有益的尝试。本书的特点具体可概括为如下两方面。

(1) 学习领域的知识构架与教材内容的优化选择。

将职业领域的实际工作任务分解成情境学习领域的内容框架，以解决职业领域中实际问题所需的知识点来构建学习领域的学习内容。为此，在以知识点重构教材内容时，本书既注意到了理论知识的有序性与连贯性，也考虑到了知识点与解决工程问题之间的相互依存关系。所选案例及习题尽可能多地与实际自动控制系统中出现或所关心的问题相一致，在培养学生的职业能力和职业素质的同时，开拓学生的认知范围。

(2) 职业领域的关键职业能力形成的模拟与抽象。

职业能力的高低并不在于学生学到了哪些知识，而在于学生能否将学过的知识综合应用于职业行为过程。由于职业过程中的问题千变万化，不可能在有限的课程中一一枚举。因此，“授人以鱼，不如授人以渔”的思维教学理念在以就业为导向、职业能力培养为核心的课程设计理念中就显得尤为重要。为此，本书面向职业领域的工作情境将知识再次细化为旧有知识、可以由旧知识推出的新知识和全新知识，通过模拟分析思维与分析方法的形成过程抽象出本书的知识链条，并引导学生随着工作情境的展开，逐步形成自己的知识综合应用的思维链条与方法链条。

全书内容安排如下：项目1~4的内容是按工作任务处理方式分解的项目要求，将经典控制理论逐级展开，展开过程模拟了对实际问题进行分析的思维形成过程。项目5是一个综合实例，在这个实例问题的解决过程中，除了将项目1~4的内容全部串接起来、让学生了解知识的应用方法之外，更为重要的是，有序地引导学生，利用知识的适度引申与资料的查阅来补充知识的不足，并利用它们解决新的问题。项目5是对本书项目1~4的理论与实践的综合应用。

本书由云南机电职业技术学院李琳教授主编并统稿。李林会老师参与了本书部分内容的编写与案例的处理，刘志华老师对全书的Word文本、绘图和MATLAB软件分析做了大量的工作。本书同时配有丰富的教学资源，包括电子教案、授课计划、试题库、教学指导与学习指导等，需要者可访问<http://www.ynmec.com>进行下载。

在本书的编写过程中，编者参考了国内外院校的优秀教材。在此，向所有为本书的编写和出版给予帮助的朋友致以衷心的感谢。

由于编者水平有限，书中有不妥与不足之处在所难免，敬请广大读者和专家批评指正。

编 者

目 录

项目 1 单闭环直流调速系统的基本工作	
原理	1
相关知识	1
任务 单闭环直流调速系统基本工作原理	
分析	13
任务引导	13
任务实施	13
拓展知识	16
小结	22
习题	22
项目 2 单闭环直流调速系统的分析	
模型	26
相关知识引导	27
相关知识	29
任务 单闭环直流调速系统分析模型的	
建立	50
任务引导	50
任务实施	51
小结	56
习题	57
项目 3 单闭环直流调速系统的性能指标	
与时域分析	60
相关知识引导	61
相关知识	63
任务 单闭环直流调速系统的性能分析与	
时域性能指标	92
任务引导	92

任务相关知识	92
任务实施	95
小结	103
习题	103
项目 4 单闭环直流调速系统的工程	
调试	106
相关知识引导	107
相关知识	110
任务 单闭环直流调速系统的工程调试	163
任务引导	163
任务实施	163
小结	166
习题	167
项目 5 数控机床进给控制系统的闭环	
调试	170
相关知识	171
任务 数控机床进给控制系统的闭环	
调试	198
小结	199
习题	200
附录	204
附录 A 伺服控制系统中常用角位移检测	
元件	204
附录 B 自动控制系统的一般调试方法	207
附录 C 制定调试大纲的原则	208
参 考 文 献	209

项目 1 单闭环直流调速系统的基本工作原理

学习目标

- 能正确判断单闭环直流调速系统的控制目的，正确找到其被控制对象及被控量。
- 能正确判断单闭环直流调速系统的控制装置，正确找到其控制量与执行机构。
- 能正确判断单闭环直流调速系统的控制方案，理解开环控制与闭环控制方案的特点，并正确找到闭环控制方案中的反馈装置及反馈量。
- 通过分析，能将给定的单闭环直流调速系统的原理图绘制成系统组成框图，并借助组成框图对控制系统的基本工作原理进行分析。

拓展能力

- 了解自动控制系统的基本概念及特点。
- 了解开环控制与闭环控制方案的特点。
- 理解自动控制系统各个组成部件图形化描述方法的基本原则，并掌握自动控制系统的图形化描述方法。
- 理解自动控制系统组成框图中各种信号流与环节功能化抽象的基本意义。
- 掌握利用自动控制系统的系统组成框图来定性分析自动控制系统基本工作原理的工作方法。

工作任务

- 将单闭环直流调速系统的各个物理部件按功能进行抽象，建立图形化的功能描述。
- 通过对单闭环直流调速系统的控制目的、控制装置、被控量与控制量之间关系的分析，正确找到各物理部件之间的信号传递关系，并建立单闭环直流调速系统的系统组成框图。
- 在正确建立单闭环直流调速系统组成框图的基础上，正确分析该自动控制系统的的基本工作原理。
- 通过对单闭环直流调速系统基本工作原理分析的学习，掌握一般自动控制系统的的工作原理的基本分析方法，并初步形成自动控制系统问题分析的基本思路。

相 关 知 识

(一)什么是自动控制系统

系统控制是一个非常普通的概念，它具有很多特性。如果一个系统是由人来完成对机器的操作，例如开汽车，那么可称之为人工控制(manual control)。但如果一个系统仅由机器

来完成操作任务,例如智能空调器自动调节室内温度,那么就称之为自动控制(automatic control)。

图 1-1 所示是液位控制的示意图,图中两个控制系统的目的都是期望容器中的液体能停留在指定的高度上。不同的是:图 1-1(a)中,期望结果是由人进行操作完成的,是人工控制系统;而图 1-1(b)中,期望结果不需要人来干预就可以自动完成,所以是自动控制系统。

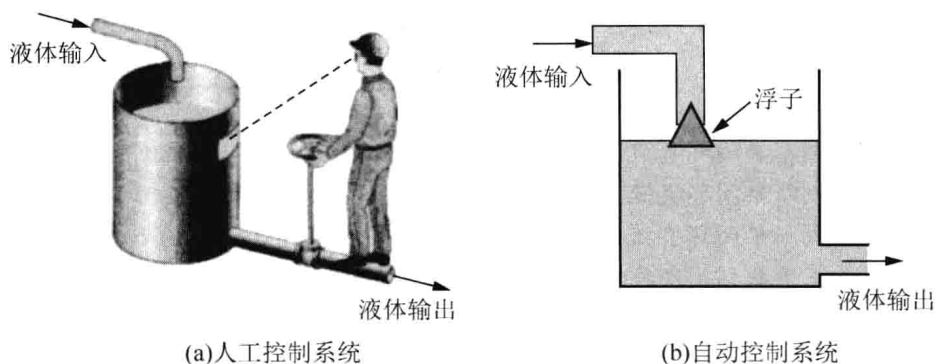


图 1-1 液位控制

下面再通过一个实例来进一步明确自动控制的基本概念。

【例 1-1】热力系统的控制。

在如图 1-2(a)所示的人工控制系统中,人是温度控制的主体,其目的是希望使热水温度保持在给定温度上。为此,可以考虑在系统的热热水输出管道内安装一支温度计,并以此来测量热水的实际温度。操纵者(人)始终监视着温度计,当发现水温高于希望值时,就操作蒸汽阀门,减少输送到系统中的蒸汽量,以降低水温;当发现水温低于希望的温度时,就反向操纵蒸汽阀门,使进入系统的蒸汽量增大,以提高水温。

如果用自动控制器来取代操作者(人)的工作。那么,要完成人工控制所需要完成的任务,就必须在系统中增加一个能够模仿人、并能完成整个操作过程所需要的判断与操作装置,如图 1-2(b)所示。

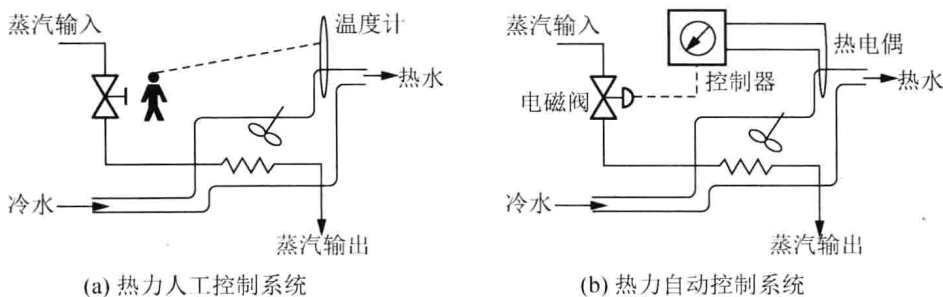


图 1-2 热力系统的温度控制

图 1-2(b)所示的自动控制系统的特点如下。

- (1) 用热电偶和控制器代替操作者对温度计的观察与判断: 热电偶将温度变换成电信号输入给控制器, 由控制器来判断温度是否与期望值(设定值)相同。
- (2) 用电磁阀取代人对送气阀门的操作: 控制器将判断的结果送给电磁阀, 以决定是

关闭蒸汽阀门降低水温，还是打开蒸汽阀门增加水温。

这样当系统中增加了这些能模仿人进行判断和操作的控制设备后，这个热力系统就由人工控制变成了自动控制。因此，一般来说，所谓的自动控制就是指在没有人直接参与的情况下，利用可以模拟人进行判断与操作的控制装置，对生产过程、工艺参数、目标要求等进行自动调节，使之按照某种预定的方案达到希望效果或期望目标的过程。

通过对【例 1-1】的分析，可以总结出自动控制的一般规律。

(1) 所谓控制就是为了完成某种“目标”而采用的一整套的方法与步骤。而这些方法与步骤通常又包含了能够更好实现这些“目标”的最佳策略(控制方案)。

(2) 所谓控制往往是对一个动态(运动)过程所实施的动态监测与动态调节过程。一个过程如果没有变化(运动)也就无所谓控制。

因此，简单来说，所谓自动控制系统就是指能按照所设定的控制策略(或控制方案)，自动完成某项工作任务，并达到预定目标的系统。

(二)自动控制系统的控制方案——开环与闭环(反馈)控制

1. 开环与闭环控制系统

【例 1-2】 太阳能高效抽水系统。

图 1-3 所示的太阳能高效抽水系统的工作原理并不复杂，其目的是：白天太阳能收集器收集太阳能并通过太阳能—电能转换机组产生电能，以驱动电动机将地下水抽到蓄水池中储存起来。但显而易见，这个控制过程只考虑了太阳能转换为电能并带动水泵抽水的过程，却并没有考虑蓄水池的蓄水情况。因此，在天气持续晴好而无须每天灌溉的情况下，势必会存在水资源的浪费问题。如果把供给水泵的电流作为该系统的输入，而蓄水情况作为输出的话，则电流供给水泵抽水(输入)与其目标——蓄水情况(输出)之间没有关联。这样的自动控制过程就是所谓的开环控制，而实施这种控制方案的系统也就称之为开环控制系统。

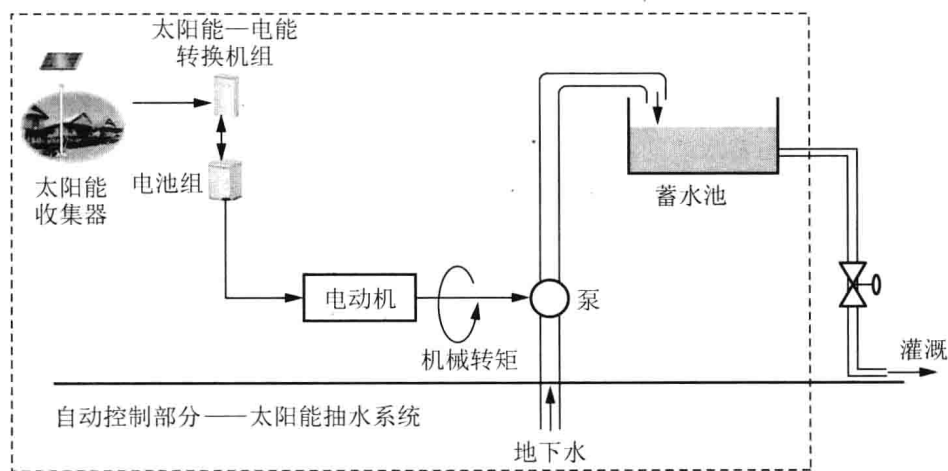


图 1-3 太阳能高效抽水系统——开环控制

分析【例 1-2】系统中存在的问题可知：造成这一问题的原因在于没有对蓄水池的蓄水情况进行监控。为了解决【例 1-2】系统中的问题，可以考虑给蓄水池增加一个可以用于监

视蓄水池水位变化的测量转换装置。它负责将蓄水池里的水位高低转换成电信号送至控制装置,控制装置将该信号与给定的水位高度信号进行比较,然后将比较结果送给执行机构,由执行机构负责按控制装置送来的比较结果切断或连通太阳能电池与电动机之间的电力输送,以完成根据蓄水池水位情况来确定是抽水还是不抽水的节水方案。上述系统如图 1-4 所示。

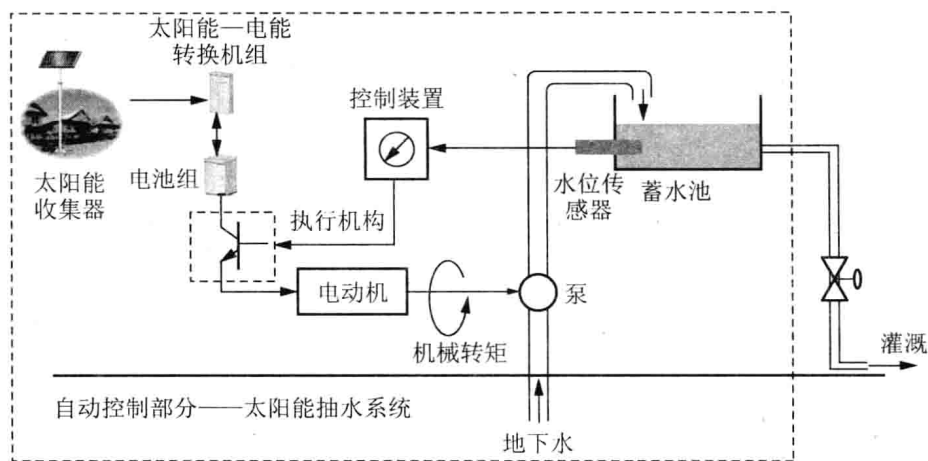


图 1-4 太阳能高效抽水系统——闭环控制

与图 1-3 所示的系统相比,图 1-4 所示的系统中添加了水位传感器、控制装置和执行机构(驱动装置)。这些装置的作用如下。

- (1) 水位传感器:负责检测蓄水池中水位的高低,并将检测到的结果变成电信号送给控制装置。
- (2) 控制装置:负责接收由水位传感器传送过来的水位检测信号,并将该信号与设定的水位信号进行比较,然后将比较结果作为控制信号送给执行机构。
- (3) 执行机构:也叫驱动装置,它负责接收控制器送来的控制信号,并按照该控制信号切断或连通电池组与电动机之间的电力供应,确定电动机的运行状态。

在图 1-4 所示系统的控制方案中,电动机旋转与停转(抽水与不抽水)的运行状态完全抛开了天气因素,而只与蓄水池的蓄水情况有关。系统通过水位传感器将输出(蓄水)情况反馈给输入(设定水位高度)端,并通过比较结果来控制电动机动作。因此,这种控制方案被称之为闭环控制,而实施这种控制方案的系统也就称之为闭环控制系统。

很明显,闭环控制方案虽然增加了系统设备的复杂程度,但却有效地解决了水资源的浪费问题。相比之下,闭环控制系统是具有一定“智慧与判断能力”的自动控制系统。

通过【例 1-2】,可给出如下定义:若控制信号没有使用系统输出的测量信号,则这样的系统称为开环控制系统(Open-loop Control System);若测量了系统的输出信号并将其应用于控制装置的控制信号中,则这样的系统称为闭环控制系统(Closed-loop Control System)。

闭环控制系统往往又称为反馈控制系统(Feedback Control System)。在闭环控制系统中,系统需要测量输出状态,然后将此状态转换成某种信号送回给控制的装置(或设备)与输入信号进行比较,并将比较的结果作为控制信号来控制相应的执行机构动作。这种将输出信号反送回输入端,进而产生控制信号(偏差信号)的过程称为反馈;利用其产生的控制信号(偏

差信号)实现控制被控制目标(被控对象)的设备称为反馈系统;而其中实现这一控制目标的装置,如检测装置、传感装置等,则被称为反馈装置。因此,一个自动控制系统是不是反馈(闭环)系统只需要看这个系统的输入与输出之间是否存在反馈装置。若存在,则自动控制系统就是闭环控制系统。本书所介绍的有关于自动控制系统的內容都是围绕反馈(闭环)控制系统展开的,本书中所提到的自动控制系统在无特别说明的情况下,都是指反馈控制系统。

2. 反馈(闭环)控制系统中的反馈控制类型

如前所述,反馈(闭环)控制系统最重要的特征是系统的输入与输出之间是否存在反馈及反馈装置。反馈的概念在模拟电子电路中有所涉及,即反馈放大器有正反馈和负反馈之分。而在采用反馈(闭环)控制方案的自动控制系统中,类似的问题同样存在。一般可定义如下两个概念。

(1) 正反馈:反馈环节测量并返回了系统的输出信号,并以“加”的形式应用于控制器控制信号的计算当中。其特点表现为,输入量与反馈量的作用相互增强,从而导致控制信号使输出量更偏离于期望的结果。

(2) 负反馈:反馈环节测量并返回了系统的输出信号,并以“减”的形式应用于控制器控制信号的计算当中。其特点表现为,输入量与反馈量的作用相互削弱,从而导致控制信号使输出量逼近于期望的结果。

【例 1-3】 用于孵化鸡蛋的孵卵器(Drebbel, 1620 年设计)。

图 1-5 所示为 1620 年由 Cornelis Drebbel 所设计的一种能自动控制加热温度的孵卵器。火炉有一个箱子,用于围控火苗,箱子顶部设有通气管并安装了一个烟道挡板。火箱里面是双层隔板的孵卵箱,隔板间充满了水以均衡整个孵化室的受热。温度传感器是一个玻璃容器,里面装的是酒精和水银,安装在孵卵器周围的水套中。当火加热箱子和水的时候,由于酒精具有正温度效应,所以受热后酒精体积膨胀,将提升杆向上抬起,从而降低通气管上的烟道挡板,使火势减小,温度降低。如果孵卵箱过冷,则酒精体积收缩,提升杆下降将烟道挡板打开,火势变旺,以提供更多的热量。

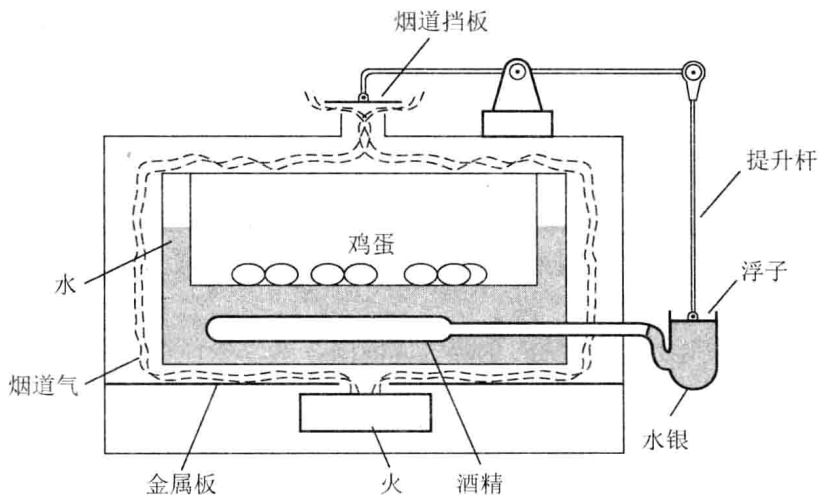


图 1-5 用于孵化鸡蛋的孵卵器

分析这个控制过程,不难发现这个孵化设备的控制特点是:输入量(这里是火势的大小)与反馈量(温度)的作用是相互抵消的。其结果就是:当温度高过期望值时,输出量(火势)减小,温度降低。

在本例中,如果不改变孵化设备的装置结构,只是将温度传感器中具有正温度效应的酒精和水银换成具有负温度效应的某种液体。那么其控制过程就变成了:当温度上升时,具有负温度效应的液体体积收缩,提升杆下降,从而打开烟道挡板,使火势变旺,温度进一步升高;而当温度过低时,具有负温度效应的液体体积膨胀,提升杆向上抬起,降低通道上的烟道挡板,使火势变小,温度又进一步降低。这样的改变造成的结果是:输入量(这里是火势的大小)与反馈量(温度)的作用是相互加强的。最终导致的结果是:当温度高过期望值时,输出量(火势)不减反增,使温度进一步上升。

比较【例 1-3】中的两种反馈方式,可以总结出正反馈与负反馈控制的性能特点如下。

(1) 正反馈:反馈信号不是制约输入信号的活动,而是促进与加强输入信号的活动。正反馈的意义在于使控制目标处在不断加强的控制过程中。

(2) 负反馈:反馈信号与输入信号的作用相反,因而它可以纠正控制信号所出现的偏差效应。负反馈调节的主要意义在于维持控制目标的实现。

通常,如果输入量与反馈量不是相互抵消,而是相互加强的,那么对于自动控制系统来说,则不可能实现稳定的期望(输出)结果。所以,只有输入量与反馈量的作用相反的负反馈才能使自动控制系统按照预定方案达到人们所期望的控制目标,而这正是负反馈(闭环)控制系统的控制精髓所在。在不特别说明的情况下,自动控制系统一般都是指具有负反馈控制方案的闭环控制系统。

(三)自动控制系统的组成框图

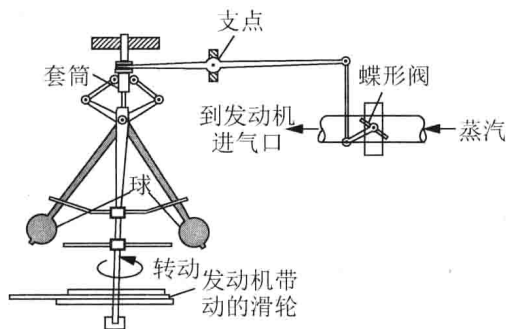
1. 自动控制系统的组成框图

在实践中,要对某个自动控制系统进行分析与调试,就首先必须了解这个自动控制系统是如何工作的,也就是要了解这个自动控制系统大致的工作原理。而要完成这个任务,了解自动控制系统由哪些相互关联的部件或装置组成就成为对自动控制系统进行分析的第一个步骤。早期的自动控制系统由于其组成部件的结构简单,所以对它的分析总是可以借助于系统本身的原理示意图来进行。但是随着生产技术和自动控制技术的不断发展,现代自动控制系统的内部关联部件及组成结构也变得愈来愈复杂。单凭原理示意图(如图 1-6 所示),已不足以帮助人们分析并设计出一个现代的自动控制系统。因此,建立一种有助于了解自动控制系统工作原理的图形化模式——系统组成框图,就成为应用自动控制理论分析实际自动控制系统的重要一步。

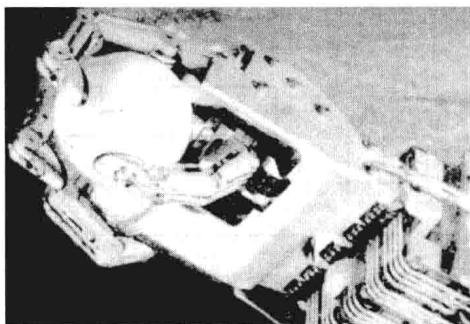
要画出一个实际自动控制系统的系统组成框图,就必须首先明确下面所给出的一些问题。

(1) 控制的目的是什么?对这个问题的回答,有助于分析者找到被控制对象及被控量(输出量)。

(2) 控制的装置是什么?对这个问题的回答,有助于分析者找到控制量及执行控制过程的执行元件或驱动装置。



(a) 飞球调速系统原理示意图(1769年, 瓦特)



(b) 四指机械手(2001年, 美国)

图 1-6 不同时期的自动控制系统的原理示意图

(3) 被控制量与控制量之间是否存在关联？对这个问题的回答，有助于分析者找到反馈装置及反馈量。

在正确回答以上问题，并得到系统组成框图的基础上，可以进一步分析系统输入量与反馈量之间的比较关系，从而确定其反馈类型。

【例 1-4】 建立如图 1-5 所示的孵卵器(Drebbel)的系统组成框图，并分析其工作原理。

解：

(1) 控制的目的：保持孵卵器温度恒定。由此可以找到如下两个量。

被控制对象(物理实体)：孵卵器。

被控量(输出物理实量)：孵卵器温度。

(2) 控制的装置：烟道挡板。由此可以找到如下两个量。

控制量(输入物理实量)：火。

执行机构：水银、浮子及提升杆。

(3) 被控制量与控制量之间是否存在关联：存在。

反馈环节及其控制过程：酒精检测温度 → 浮子及提升杆动作 → 改变烟道挡板的高度。

反馈量：温度变化。

因此，可得到孵卵器系统的系统组成框图如图 1-7 所示。图中，“○”表示对输入量与反馈量进行比较的控制器件。

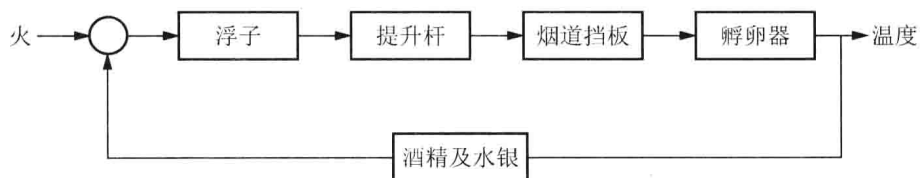


图 1-7 孵卵器的基本组成框图

正如【例 1-3】所分析的那样，要想让孵卵器达到自动控制的目的，即保持孵化箱内的温度恒定，则必须采用负反馈。于是，对于实现输入量与反馈量的比较并产生控制作用(信号)的控制装置，在用“○”这个符号进行表示的同时，对于输入这个控制装置的输入量，

一般可用“+”来表示它的信号极性。由于本例中的反馈类型是负反馈，所以反馈量就用“-”来表示其信号类型。这样一个完整的系统组成框图就如图 1-8 所示。

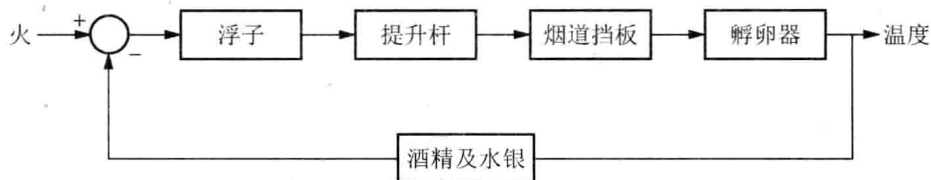


图 1-8 孵卵器完成的系统组成框图

下面分析其工作原理。

当假定孵卵器由于某种原因使箱体温度增加时，系统有如下的调节过程(工作原理)存在。

$T \uparrow \rightarrow$ 酒精体积膨胀 $\rightarrow$ 浮子上升 $\rightarrow$ 提升杆下降 $\rightarrow$ 烟道挡板高度降低

$T \downarrow \leftarrow$

【例 1-5】 建立如图 1-9 所示的电炉箱自动恒温系统的系统组成框图，并分析其工作原理。

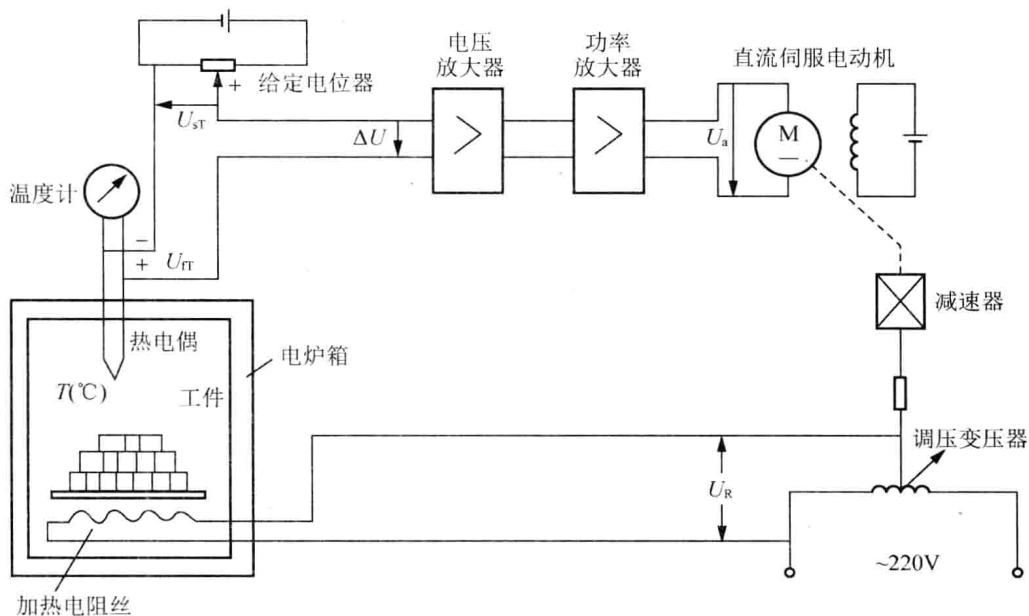


图 1-9 电炉箱自动恒温系统的原理示意图

解：

(1) 控制的目的：保持电炉温度恒定。由此可以找到如下两个量。

被控制对象(物理实体)：电炉箱。

被控量(输出物理实量)：电炉箱温度。

(2) 控制的装置：加热电阻丝。由此可以找到如下两个量。

控制量(输入物理实量)：给定电压 U_{st} 。

执行机构：调压变压器、减速器和直流伺服电动机。

(3) 被控制量与控制量之间是否存在关联：存在。

反馈环节及其控制过程：热电偶 → 给定电压 → 改变电动机转动方向 → 调节电阻丝两端的电压大小。

反馈量：温度变化 U_{ft} 。

因此，得到电炉箱自动恒温系统的系统组成框图如图 1-10 所示。

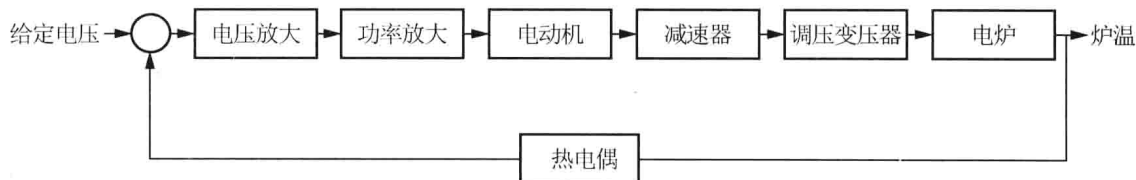


图 1-10 电炉箱自动恒温系统的基本组成框图

接下来可以进一步分析输入量与反馈量的比较结果。

如果炉子的温度事先已由给定电压 U_{st} 设定好了，那么当某种扰动出现(如放入工件时打开炉盖等)时，会使炉子的温度下降，这时需要增加电压使电阻丝迅速加温；反之，如果当电阻丝加热到超出设定温度，则需要减小电压，使电阻丝少发热或不发热。由此可知：电炉箱自动恒温系统采用的应该是负反馈。其完整的系统框图如图 1-11 所示。

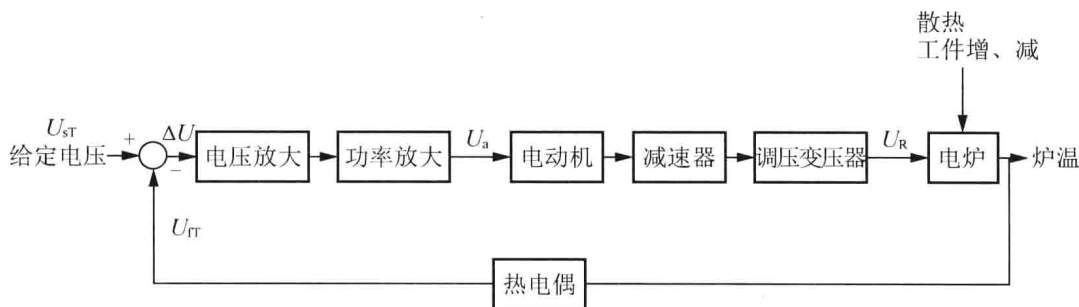


图 1-11 电炉箱自动恒温系统的完整系统组成框图

下面分析其工作原理。

当假定电炉箱温度由于某种原因增加时，系统有如下的调节过程(工作原理)存在。

$T \uparrow \rightarrow U_{ft} \uparrow \rightarrow \Delta U = U_{st} - U_{ft} \downarrow \rightarrow$ 电动机经减速器带动调压器运行使 $U_R \downarrow$

$T \downarrow \leftarrow$

总结【例 1-5】，可以得到如下结论。

(1) 一般情况下，自动控制系统总是用“+”号来表示所给出的输入量，而对于反馈量，可根据其控制目的及控制作用，分别用“+”号或者“-”号来表示其反馈性质。即：当反馈量造成的控制作用是加剧了输出量变化趋势时，用“+”号表示其反馈性质为正反馈；当

反馈量造成控制作用减弱并稳定了输出量的变化趋势时,用“-”号表示其反馈性质为负反馈。一般来说,有效的自动控制系统往往是负反馈系统。

(2) 为了表明自动控制系统的组成以及信号的传递情况,通常把系统各个组成部件的作用,用“方框+装置的功能特征说明”的方式进行表示。除此之外,还用箭头标明各关联装置之间作用量(能量或信号)的传递情况。而这样做的好处在于:在对实际问题的分析过程中,可以避免去画复杂的系统示意图,同时也可以把系统主要装置之间的相互作用关系(功能作用)简单而明了地表达出来,从而为下一步系统的定量分析提供一个简单而明确的图形化模型(系统框图)做准备。

2. 自动控制系统组成框图中的信号与环节

对于自动控制系统而言,无论采用哪种控制方式,从完成自动控制目标这一职能来看,任何一个自动控制系统都必然包含被控对象和执行机构。但与开环控制相比,闭环控制系统因为要测量被控制对象的控制效果(输出量),并且将其送回到控制器(比较环节)与控制器中的期望值(输入量)进行比较,然后再将比较结果作为控制量(偏差信号)来驱动执行机构,因此,闭环控制系统从结构上来说要比开环控制系统复杂。

在闭环控制系统中,一些重要的环节,如反馈环节、比较环节、控制信号输入的给定环节等,都是具有一定结构的物理器件。在不同的自动控制系统中,这些物理器件的组成结构可能完全不同,但它们所实现的任务却可能是完全相同的。因此,对于自动控制系统来说,不论这些器件本身是由哪些物理材料制造的,也不论它是机械的还是电气的,它所完成的任务的内容(反馈、比较、输出控制信号)都是类似的。因而,在控制系统中,通常可以将这些由不同的实际物理器件所构成的装置按其所完成的任务(行为)进行抽象。即在对系统进行分析时,只考虑它所实现的功能行为,而不考虑其装置结构。经过这样的抽象,一个实际的自动控制系统就可以简化成由几种典型“环节”或“元件”所组成的模型系统。

图 1-12 表示了一个典型的反馈控制系统的基本组成模型。一般自动控制系统组成模型中大致包括两类元素,即信号流与环节(或元件)。

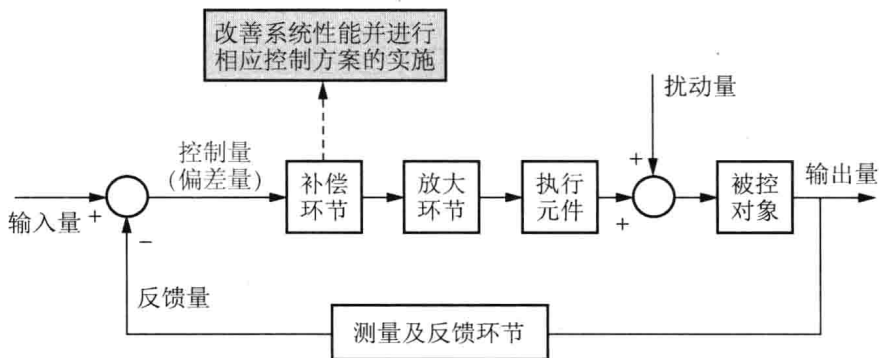


图 1-12 自动控制系统的典型组成框图

1) 信号流

信号流指一个自动控制系统中所有相互作用的信号的组合。一个给定的自动控制系统中一般包括如下 6 个量。

(1) 输入量(Input Variable): 是指让自动控制系统按期望要求工作时的信号输入值, 该物理量又常被称为给定量或参考量。

(2) 输出量(Output Variable): 是指自动控制系统工作或动作的实际情况。它可以是任何被控制对象的实际输出值, 如炉温温度、电动机转速、水位高度或机械加工设备的加工轨迹等。该物理量又常被称为被控量。

(3) 反馈量(Feedback Variable): 是输出量的一部分或全部。在电气控制系统中, 非电量一般要转换成电量。

(4) 控制量(Control Variable): 也称为偏差量, 它是由输入量与反馈量比较得来的。这是一个非常重要的物理量, 自动控制系统就是利用这个物理量, 以闭环方式来控制被控对象的。

(5) 扰动量(Disturbance Variable): 是指引起输出量与期望值不一致的各种变化因素。它可以来自自动控制系统内部, 如电子设备的零点漂移、温度导致的器件参数变化等; 也可以来自自动控制系统外部, 如电网电压变化, 负载、阻力及环境温度等变化。

(6) 中间变量(Middle Variable): 是指自动控制系统各关联部件或装置之间相互作用的信号。其基本原则是: 前一装置的输出量是后一装置的输入量。在抽象系统中, 其中间变量的物理性质不一定是相同的。如电动机, 它的输入量是电量, 而输出量是机械转矩。

信号流在自动控制系统的组成框图中一般用带有箭头的有向线段来表示信号的传递方向或信号的流向。沿箭头方向从输入端(左侧)到达输出端(右侧)的传输通路称为自动控制系统的前向通路。输出量经测量元件反馈到输入端的传输通路称为反馈通路。

2) 环节或元件

环节或元件是指组成某一自动控制系统的各装置或设备的理想模型。它只反映了这些组成装置或设备所要完成的功能或任务, 而与这些装置或设备的物理结构无关。一个给定的自动控制系统一般可以分成如下几个环节或元件。

(1) 给定元件(Command Element): 其任务是给出与期望的被控量相对应的系统输入量(也叫给定量或参考量)。

(2) 测量及反馈环节: 其任务是测量被控量(输出量), 并将其反馈到输入端。在电控系统中, 如果这个被测量的物理量是非电量, 一般要转换为电量。

例如: 测速发电机可用于检测电动机轴的速度, 并将其转换为电压信号; 湿敏传感器可利用“湿-电”效应来检测湿度, 并将其转换成电信号; 旋转变压器、自整角机等可以用于检测角度, 并将其转换为电压信号; 热电偶可用于检测温度, 并将其转换为电压等。

(3) 比较环节: 其任务是把测量元件检测到的反馈量与给定元件给出的输入量进行求和, 然后将其结果作为控制量(偏差量)输出, 用以控制执行元件的动作。图中用“○”号代表比较元件(详见图 1-12), 它表示了反馈量与输入量所进行的比较计算。在一般的分析过程中, 通常约定输入量为“+”。因此, 若反馈量用“-”号, 则代表了负反馈; 若反馈量用“+”号, 则代表正反馈。常用的比较元件有差动放大器(运算放大器)、机械差动装置和电桥等。

(4) 补偿环节: 也称校正元件或控制器。其作用是对系统实施相应的控制策略, 以改