

135293

TK32
777

热工过程自动调节

周建民 主编
刘红 赵希娴 王景龙 编著
鹿世金 主审



京电力大 00170096

兵器工业出版社

(京)新登字049号

内 容 简 介

本书共分五章，前两章介绍自动调节的基本原理与系统设计的方法；第三章介绍火电厂的基本调节系统及控制设备；第四章说明大型机组自动调节系统的特点；第五章叙述计算机自动控制系统的知识。

本书主要作为电力系统或入高校热能动力类专业“热工过程自动调节”课程的教材，其他成人高校同类课程也可选用，并可供有关专业的技术人员参考。

热工过程自动调节

周建民 主编

刘红 赵希娴 王景龙 编著

鹿世金 主审

*

兵器工业出版社 出版发行
(北京市海淀区车道沟10号)

新华书店总店经销
北京京辉印刷厂印装

*

开本：787×1092 1/32 印张：7⁵/₁₆ 字数：165千字

1992年8月第1版 1992年8月第1次印刷

印数：1—2,050 定价：6.80元

ISBN 7-80033-452-7/TK·13

前 言

本书是遵照“能源部高等职业教育委员会”的决定而编写的，主要作为电力系统成人高校热能动力类专业的教材。

本书在编写时注意到以下几个方面：成人教育的特点与要求；实际应用状况；设备的更新与技术进步；汲取各校同行们在历次“课程组会议”上对教材提出的建议、设想与教学经验。另外，力求使内容具体，易于自学。

本书十分注重基本概念的严谨性和清晰性；基本理论的系统性；理论阐述深入浅出，对教学难点先举例说明，然后纳入理论分析，以便于学习和掌握。另外，考虑到本专业内容丰富，但学时有限，因而对繁难的数学推导和对生产实际无直接指导作用的高深理论，本书不做阐述。

鉴于机组容量越来越大，125MW及以下容量的机组有淘汰趋势，以及新的控制设备和控制技术应用日益广泛，并将取代老的设备和技术，本书简明扼要地介绍了大型机组自动调节系统的特点和基本知识；还阐明了SPEC-200组件组装仪表、数字单回路调节器、可编程控制器等现代控制设备的实际应用以及计算机自动控制系统的的基本知识，以跟踪先进技术和更新教学内容。

本书由周建民副教授主编，鹿世金副教授主审。刘红讲师编写第一、二章；周建民副教授编写第三、四、五章；王景龙高级讲师、赵希娟讲师参加了编写的有关工作；鹿世金副教授修改了本书的初稿，并对各章节提出具体修改建议。

另外,白方周教授、刘德盈高级工程师、张颖工程师、季瑞芝高级工程师、严蕊琪高级工程师等审阅了书稿并提出宝贵意见; 施桂英在组织、协调等方面做了大量工作, 在此一并致谢。

由于水平有限, 难免有错误疏漏之处; 对某些教学难点的解决方法不一定十分得当, 希读者指正。

编者 1992.3

目 录

前言

第一章 自动调节系统基本原理	1
第1节 基本概念	1
第2节 自动调节系统特性与微分方程分析法	9
第3节 拉氏变换	27
第4节 传递函数	38
第5节 环节联接与框图简化	48
第6节 稳定性理论	56
第7节 品质指标	66
习题	68
第二章 自动调节系统设计与分析	76
第1节 补偿环节的三种基本形式	76
第2节 二阶系统	82
第3节 调节器	89
第4节 单回路反馈系统分析	100
第5节 整定方法	117
习题	125
第三章 火电厂汽包锅炉基本自动调节系统	129
第1节 对象动态特性	129
第2节 自动调节装置	139
第3节 给水自动调节系统	160
第4节 过热汽温自动调节系统	168
第5节 燃烧自动调节系统	172
习题	177

第四章 现代火电厂大型机组自动调节系统	179
第1节 大型汽包炉基本自动调节系统的特点	179
第2节 直流锅炉自动调节系统的特点	190
第3节 大型机组主控系统及运行方式	193
习题	202
第五章 计算机控制系统	203
第1节 连续函数的采样与 Z 变换	203
第2节 计算机控制系统的组成及特点	206
第3节 计算机集散系统	215
习题	220
附录 复数基本知识	221
参考文献	228

第一章 自动调节系统基本原理

第1节 基本概念

在学习自动调节理论之前，应先了解几个关于自动调节系统的基本概念和常用术语。

一、人工调节与自动调节

为便于说明问题起见，我们从三个简单的例子出发，归纳出人工调节与自动调节的基本概念。

例1 锅炉送风量的调节。锅炉烟气中含氧量的多少表示过剩空气系数的大小，即反映了风煤比是否合适。通过观察测量仪表（一般用氧化锆氧量表）显示的数值，与所要求的值相减，若有差值，根据差值的大小和正负操作送风机挡板开度，使炉膛过剩空气系数维持最佳值，以保证经济燃烧。通常，一次操作不能达到预期的效果。操作效果是否合适，可将氧量表的指示信号再与所要求的含氧量值相减，然后进行又一次操作，直到最后消除差值为止。

例2 汽轮机转速的调节。为了保证电的质量，我们希望在不同负荷下，汽轮发电机的转速基本保持不变。但由于电负荷在不断地改变，所以机组转速也要随之发生变化，通过转速表可以观察出这个变化。将转速表的指示值与所要求的值相减，根据差值的大小和正负，调整操作进汽阀门，便可保证转速基本不变。

例3 电炉炉温的调节。电炉温度会受电源电压波动或

环境温度变化等因素的影响，若要使炉温保持恒定，则首先应测出实际炉温，然后与所要求的炉温相减，从而判断出它们之间的差值大小和正负，然后操作调压器，使炉温回复到所要求的数值。

以上三个调节过程若是人工操作，则称为人工调节。倘若这个任务不直接由人承担，而是依靠自动装置完成，则称为自动调节，如图 1-1到图 1-3所示。

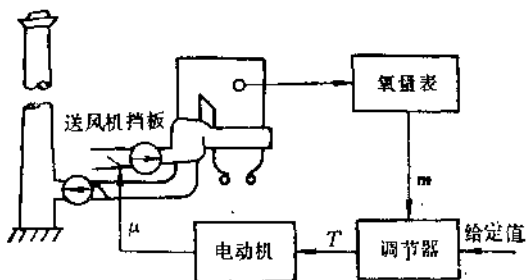


图 1-1 锅炉送风量自动调节系统示意图

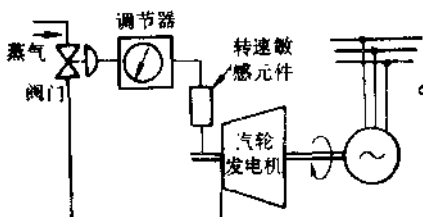


图 1-2 汽轮机转速自动调节系统

根据图 1-1所示的锅炉送风量自动调节系统，氧化锆氧量表测出含氧浓度，再与所要求的含氧量值相减，相减之差值即为烟气中实际含氧量值与要求值的偏差，调节器根据此

偏差值调节送风机挡板开度以改变送风量，这样来保证锅炉经济燃烧。

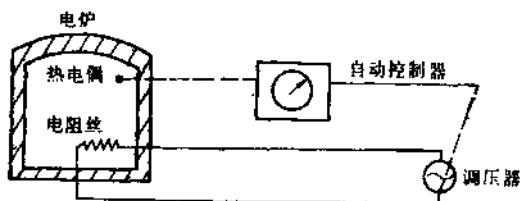


图 1-3 电炉温度自动调节系统

在图 1-2 所示的汽轮机转速自动调节系统中，转速敏感元件用来测量汽轮机组的实际转速，调节器接受从转速敏感元件传来的信号，与所要求的转速相减后，发出信号去改变蒸汽阀门的开度，使进入汽轮机的蒸汽所产生的转矩与发电机的阻力矩相等，这样就可使转速基本保持不变。

在图 1-3 所示的电炉炉温自动调节系统中，热电偶用来测量炉温，再将炉温与所要求的温度相减，所得之差值即为实际炉温和所要求炉温的偏差。自动控制器根据该偏差值调节电源（图中未示出）电压的大小，从而完成自动调节炉温的任务。

通过上而分析可以看出，不论是人工调节，还是自动调节都是以“检测偏差和纠正偏差”这样一个原则为基础的。

二、常用术语

为了便于讨论，先介绍几个常用的术语。

自动调节系统（简称自调系统）指输出量基本保持某个不变值或是随时间和其它要求变化的系统。

被调量（或称输出量）指被自调系统调节的物理量（如上面三个例子中的烟气含氧量、汽轮机转速和炉温）。

若一个自调系统只调节一个物理量，则此自调系统称单变量自调系统；若调节两个以上物理量，则称为多变量自调系统。

被调对象（或简称为对象）指与被调节物理量相应的那个生产过程，或者进行生产过程的设备、装置等（如上例中的锅炉、汽轮机和电炉）。

给定值（或称给定信号）根据生产要求，规定被调量需要达到的数值（如上例中所要求的烟气含氧量值、汽轮机转速值、电炉炉温值）。

扰动（或称干扰）指引起对象中被调量变化的各种外界因素，如上例中的燃料量变化、发电机负荷的变化和电源电压的波动等）。

输入量泛指输入到自调系统中的各种信号，包括给定值和扰动。

反馈将输出量的全部或一部分信号返回输入端称为反馈。若反馈的结果有利于加强输入信号，则称为正反馈；若反馈信号削弱输入信号，则称为负反馈，在自调系统中主要应用的是负反馈。

闭环与开环系统输出的被调量和输入端之间存在着反馈回路的系统称为闭环系统；反之，被调量并未以任何形式反馈到输入端的则称为开环系统。

三、自动调节系统框图

使用这些术语后，可将上述图1-1到图1-3分别简化成图1-4、图1-5和图1-6的形式。

由于我们研究系统最关心的是信号传递的情况，而并非注重系统中各个组成部分的具体结构情况，因此在图1-4、图1-5和图1-6中用框图的形式表示各组成部分，并在框中注

明其所示部分的名称或功能，而不必画出该部分的具体结构。另外，信号的传递用一根带箭头的线段来表示，箭头的



图 1-4 锅炉送风量自动调节系统结构框图



图 1-5 汽轮机转速自动调节系统结构框图

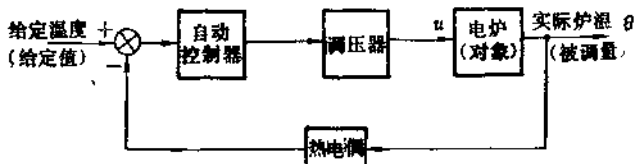


图 1-6 电炉炉温自动调节系统结构框图

方向表示信号的传递方向。这样的图叫做系统结构框图（简称框图）。图中 $\rightarrow \otimes \rightarrow$ 代表比较器，其中 $- (+)$ 表示两信号相减（相加）。框图两边的线段及其标注表示该组成部分与其它部分发生相互作用的物理量，箭头表示作用的方向。注意，这带箭头的线段仅表示物理量的信号传递，丝毫不表示物料的流向或能量转换。

系统框图清楚地表明了系统中各组成部分间的关系和信号传递的过程，这对于了解系统调节过程的工作原理来说是一种简单明了的方法，因而它被广泛地应用于分析自调系统。

从图1-4到图1-6也可以看到，各组成部分间的相互作用的物理量也就是这些部分的输入输出量，故被调量是系统的输出量，给定值是系统的输入量，而偏差就是输出量经氧化锆氧量表或转速表或热电偶反馈到输入端，与输入量相减后所得的量。这种按偏差进行自动调节的系统必须采用负反馈信号，各图所示的就是典型的负反馈闭环系统。

类似的例子还很多，在此不再赘述。但需说明，尽管每个反馈系统所完成的调节任务不一样（当然，它们组成部分的具体结构也不一样），但都是由一些相似的功能元件构成，这些元件包括：检测输出量的测量元件、比较元件，纠正偏差用的控制元件（调节器）及执行元件。因而，上述各自调系统又可统一用图1-7所示的原理框图表示。由于自调系统的任务是使被调量不受扰动影响或保持在所要求范围内，或按一定规律变化，因此在研究一个自调系统时，其框图必须反映出扰动的影响，故在图1-7中，作用到对象上去的除控制量外，还应表示出扰动量。从被调量到反馈信号这一自右向左的通道称为反馈通道，从给定值到被调量这一自左向右的通道称为前向通道。

同一个系统可以画成不同的框图，只要能正确表示信号传递的过程即可。自动调节系统的框图可简可详，可根据具体需要而定。

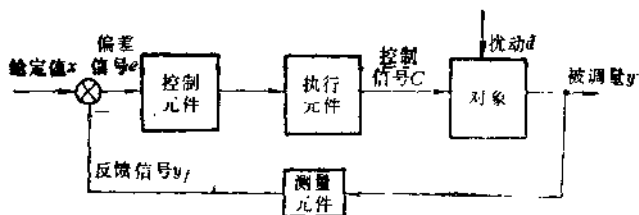


图 1-7 自动调节系统原理框图

四、自动调节系统的分类

实际生产过程中采用的自动调节系统，其类型是多种多样的，可按多种不同的方法进行分类。

1. 按给定值变化的规律来分，有恒值调节系统、程序调节系统和随动调节系统。

恒值调节系统的给定值在系统工作过程中是保持恒定的，从而使被调量保持或接近于恒定。

程序调节系统的给定值是时间的已知函数。调节系统用来保证被调量按预先确定的规律变化。

随动调节系统的给定值既不是恒定的，也不是按已知规律变化的，而是按事先不能确定的一些随机因素改变的，其调节结果使被调量也跟随这个随机变化的给定值作相应的变化。

2. 按自调系统的结构来分，有闭环调节系统、开环调节系统和复合调节系统。

闭环调节系统亦称反馈调节系统，它是自动调节中最基本的调节系统。在闭环调节系统中，被调节量信号经反馈通道送到控制元件的输入端与给定值比较，作为不断引起调节作用的依据。而调节的目的就是要尽可能地减少被调量与给定值之间的偏差，因此，经由反馈通道使信号的传递路径形成

了闭合回路。只要被调量不等于给定值，就会持续不断地发生调节作用，直到被调量符合要求为止。因此，闭环调节系统的最后调节结果总是能保证被调量等于或接近于所要求的给定值。

如果调节系统中不存在被调量的反馈通道，控制元件只是根据直接或间接反映扰动输入的信号来进行调节，则称为开环调节系统。

在生产过程中，开环调节和闭环调节常常相互配合使用，组成“复合调节系统”，也称“前馈-反馈系统”。

3. 按自调系统闭环回路的数目来分，有单回路调节系统和多回路调节系统。

单回路调节系统是只有一个被调量被反馈到控制元件的输入端，只形成一个闭合回路的调节系统。如果调节系统中采用不止一个反馈信号，就形成一个以上的闭合回路，则称为多回路调节系统。

4. 按系统的特性来分，有线性调节系统和非线性调节系统。

如果系统的数学模型的方程是线性的，则这种系统叫做线性系统；而用非线性方程描述的系统叫做非线性系统。

任何线性调节系统都有一个重要的性质，就是：如果有好几个（扰动）输入同时作用于系统上，那么，在输出端引起的总效果等于每个（扰动）输入单独作用时所引起的效果之和。这就是线性系统的叠加原理。

所有各类调节系统中，最基本的，也是用得比较广泛的，是线性、闭环、恒值调节系统。多回路系统是单回路系统的发展，而单回路系统则是研究复杂系统的基础。因此，下面将着重研究和分析单回路调节系统的问题。

第2节 自动调节系统特性与微分方程分析法

一、系统的静态特性和动态特性

在自动化领域内，把被调量不随时间变化的平衡状态称为系统的静态，而把被调量随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。

对于恒值自调系统来说，当它的输入和输出均恒定不变时，整个系统就处于一种相对的平衡状态，系统的各个组成环节都不改变其原先的状态，它们的输出信号也处于相对静止状态，这种状态就是上述的静态。值得注意的是，这里所指的静态与习惯上所讲的静止不同。习惯上说静止都是指静止不动，而在自动化领域中的静态是指各信号的变化率为零，即信号保持为某一常数不变。因为自调系统在静态时，生产还在进行，物料和能量仍然有进有出，只是平稳进行没有改变就是了。通常我们将系统的输入信号和输出信号处于平衡状态时的关系称为静态特性。

假若这个恒值自调系统原来处于相对平衡状态，由于扰动而发生了变化，破坏了这种平衡时，被调量就会跟着变化，而系统的调节作用就将使被调量趋近于回到原来的稳定值，即力图使系统恢复平衡。从干扰的发生，经过调节，直到系统重新建立平衡，在这一段时间中，整个系统的各个环节和信号都处于变动状态，所以，这种状态叫做动态。同样，输入信号和输出信号在变动状态时的关系称为动态特性。在自动调节中，了解系统的静态特性是必要的，但了解系统的动态特性更为重要。在自动调节系统投入运行时，时时刻刻都有干扰作用发生，以致破坏正常的生产状态，因此，就需要通过自动化装置不断地施加调节作用去对抗或抵

消干扰作用的影响，从而使被调量恢复原值。研究恒值自调系统的重点是要研究系统在扰动作用下的动态特性。

在工业生产过程中，自调系统中的各环节，特别是对对象多少都有一些惯性，因此，当扰动突然发生变化时（从平衡状态的角度看，也可以认为是在扰动突然作用下），被调量会出现一个相应的变化过程（调节过程），亦称过渡过程。过渡过程是调节作用不断克服干扰作用，使系统重新达到新的平衡状态的过程。

自调系统是由一系列环节构成的，整个系统的特性取决于各个环节的特性和它们的联接方式。描述系统静态特性的数学关系式是代数方程式，描述系统动态特性的数学关系式是微分方程式。若要求出系统的特性方程，则首先应求出其各个环节的特性方程，然后解联立方程组即可。所以我们必须正确求出环节的静态特性方程和动态特性方程。下面分别以某复杂系统中的一个环节——阻容滤波器和电炉炉温自调系统中的一个环节——热电偶为例进行讨论。

1. 环节的静态特性方程

图1-8a示出阻容滤波电路。把它作为一个环节看待，其输入量为电压 u_1 ，输出量为电容两端的电压 u_0 。在平衡状态下，应有下列代数方程：

$$u_0 = u_1 \quad (1-1)$$

式(1-1)就是阻容滤波器的静态特性方程，它表明在平衡状态下这一环节的输出量和输入量成正比，其比例系数为1。

图1-9a是热电偶测温示意图。把热电偶看作一个环节，它的输入量是被测介质的温度 θ ，输出量是热电偶的热电势 E 。在平衡状态下，即被测介质温度 θ 等于热电偶热端的温度 θ_e ，热电势 E 的数值反映被测介质温度 θ 的高低，其代数方程

为：

$$E = r\theta \quad (1-2)$$

式中， r 为热电偶静态放大系数，即当热电偶处于平衡状态 ($\theta_0 = \theta$)时，被测介质温度每改变一度热电势的变化值。

式(1-2)就是热电偶的静态特性方程。

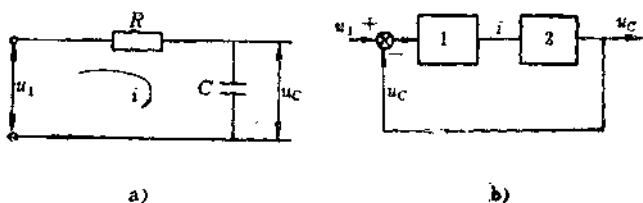


图 1-8 阻容滤波电路

a) 电路图 b) 框图

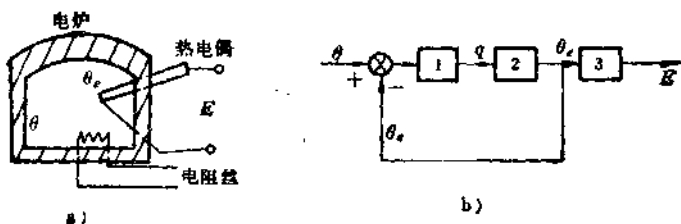


图 1-9 热电偶

a) 热电偶测温示意图 b) 框图

2. 环节的动态特性方程

如图1-8a电路所示，当电压 u_1 的数值有所增加时，输出端的电压 u_c 将随着电流 i 对电容 C 不断充电而升高，直到 $u_c = u_1$ 时才停止。这个物理过程可以用图1-8b表示。这样阻容