第一章

# 热控专业基本概念

## 第一节 生产过程的自动控制

### 一、人工控制和自动控制

人工控制是指运行人员根据对生产过程热工参数变化原因的分析，手动操作某一阀门或挡板的开度，改变流入量或流出量，使参数恢复到给定值。图 1－1 为锅炉汽包水位进行人工控制的示意图。在锅炉运行过程中，水位 $H$ 是否稳定在给定值，是给水流量 $W$ 和蒸汽流量 $D$ 是否平衡的标志。运行人员要经常注视水位指示值是否符合给定的水位值，若水位偏高或偏低，就要关小或开大给水控制阀门进行人工控制，直到水位 $H$ 重新恢复到规定的数值 $H_0$，这一操作过程就称为控制，被控制的生产过程或设备称为被控对象。本例中汽包水位是表征锅炉工作过程是否正常运行的物理量之一，这种表征生产过程是否正常进行而需要加以控制的物理量称为被控量，被控量所应具有的数值称为给定值（或规定值、希望值）。对被控量的控制一般都是通过改变参与生产过程的某一物质的流量或能量来实现的，因此在生产设备上必须装有可用来改变进入被控对象的物质或能量的装置，这个装置称为执行机构。

改变执行机构的位置从而控制被控量的作用称为控制作用。除控制作用外，引起被控量变化的其他因素称为扰动。汽包水位的变化由流入锅炉汽包的给水流量（即流入量） $W$ 的变化或蒸汽流量（即流出量） $D$ 的变化引起。显然，当汽包水位等于给定值时，流入量与流出量平衡时是不需要控制的。一旦由于外界负荷的变化，流出量发生变化时，流入量与流出量失去平衡，汽包水位就必然发生变化。这时运行人员应根据水位的高低去关小（或开大）给水控制阀门，使流入量与流出量重新达到平衡，被控量亦恢复到给定值。因此，控制的任务就是通过执行机构的动作产生控制作用来抵消扰动对被控量的影响，使被控量能经常等于给定值的。

在图 1－1 的人工控制中，执行机构是由运行人员操作的，为了进行控制，运行人员必须做到以下几点：

（1）了解情况。使用肉眼观察指示仪表的数值，以了解生产过程的运行情况。

（2）分析决策。根据被控量的观测值与头脑中记忆的（或指示仪表上用红线划定的）规定值进行比较，按二者误差的大小、方向和变化速度等，迅速做出是否要进行控制和如何控制的判断。

（3）执行操作。根据分析决策的结果，适当地操作执行机构。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

(4) 运用反馈信号进行控制。一个元件或系统的输出信号被反送入输入端叫做反馈。一个熟练的运行人员在人工控制中，应该会运用反馈信号进行控制。即不仅知道如何操作执行机构，而且能估计到执行机构移动后的效果，恰当地变更控制的快慢和大小，既防止控制过头，又注意控制不足。

重复上述步骤，直到被控量恢复到给定值为止，控制过程才告结束。

随着机组容量的增大，参数不断提高，大容量、高参数、高自动化的大机组处于主导地位，人工控制愈来愈显得不可靠和不可能。故现代火电厂在生产过程中，为了保持被控量恒定或按预定规律变化，都采用一整套自动控制装置来代替运行人员的操作，这种用仪表进行的自动操作称为自动控制。从自动控制的要求来看，它必须具有如下三个方面功能的基本部件。

(1) 测量变送器。用来测量被控量的大小，并把原始的物理量参数（如水位、温度、压力和流量等）转变成某种便于远距离传送的，且与被控量成比例（或某种固定的函数关系）的测量信号。测量变送器代替人的眼睛，了解情况，传送信号。

(2) 控制器。接受测量变送器传来的被控量信号，并把它与给定值进行比较，当被控量与给定值有偏差时，发出一个反映偏差方向（正或负）和大小的信号。同时根据这个偏差信号按预定的规律进行运算，然后发出控制信号给执行器，控制器代替人的大脑进行比较、判断。

(3) 执行器。按照控制器发出的控制信号去驱动执行机构，执行机构代替人的手进行执行操作。把这套自动控制装置和被控对象连接起来，就构成一个自动控制系统，如图1－2所示。

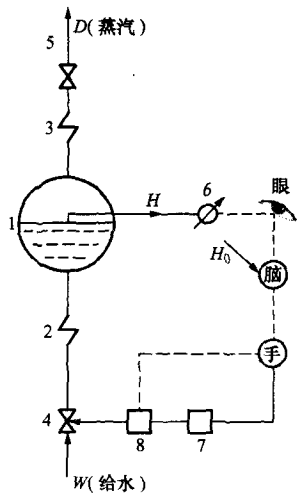



图 1－1 锅炉汽包水位的控制示意

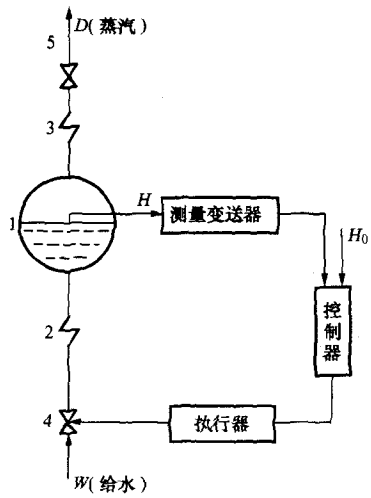



图 1－2 锅炉汽包水位自动控制示 意

二、自动控制系统

自动控制系统是由起控制作用的自动控制装置和被控制器控制的生产设备（控制对象）通过信号的传递、联系所构成的。简言之，控制对象和控制器通过信号的传递，相互

联系组成控制系统。为了便于形象地研究系统，我们常常应用方框图这个工具。例如图 1－2 的汽包水位控制系统中，当负荷侧蒸汽阀门开度改变使锅炉负荷发生变化时，汽包水位的变化值通过变送器转换成控制装置所能接受的统一信号（如电流或电压信号）；在控制器中，这一信号首先与代表给定值 $H_0$ 的信号相比较，得到一个偏差信号；然后按预定的控制规律对偏差信号进行运算，得到需要的控制信号；该信号送至执行机构，使它去驱动给水控制阀门，改变进入汽包的给水流量，以抵偿蒸汽负荷变化对水位的影响。给水自动控制系统的这一信号传递过程可用图 1－3 的方框图来表示。图中每一个小方框代表控制对象或自动控制装置的一个部件或一个设备或几个设备的组合体，称为环节。环节之间用带有箭头的连接线表示信号的传递途径和方向。每一个环节均有输入信号（输入量）和输出信号（输出量），输入量是引起输出量变化的原因，输出量是输入量变化的结果。因此方框图中的环节并不代表某一部件或某一设备的具体结构，而是代表这个部件或设备所具有的输入与输出之间的某种因果关系，这一因果关系（传递方向）是不可逆的。因此，同一个系统可以画出不同的方框图，可简可繁。如图 1－3 所示，如果按虚线把控制对象和控制装置分别用一个环节表示，则可画成图 1－4 的方框图。

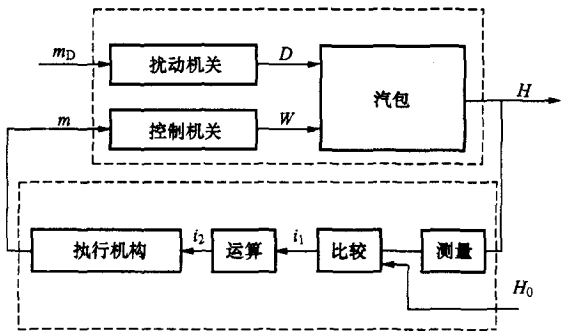



图 1－3　给水控制系统方框图

$m_D$—扰动作用；$m$—执行机构位移控制作用；$D$—蒸汽流量变化；$W$—给水流量变化；$H$—汽包水位；$H_0$—水位规定值；$i_1$—水位偏差信号；$i_2$—控制信号

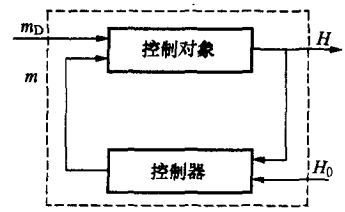



图 1－4　控制系统方框图

这个方框图表明引起水位 $H$ 变化的原因有两个：负荷侧蒸汽阀门开度 $m_D$（扰动）和控制装置的执行机构位移 $m$（控制作用）。水位 $H$ 的变化又会引起执行机构位移 $m$ 发生变化。根据这个方框图，我们所要研究的是在扰动 $m_D$ 或规定值 $H_0$ 改变时，被控制量 $H$ 和执行机构位移 $m$ 的变化情况，至于控制器内部各部件输出信号的变化可以不考虑。也可把整个系统看做一个环节，如图 1－4 虚线所示，这时方框图只表明系统输出被控量 $H$ 和输入扰动 $m_D$ 或规定值 $H_0$ 之间的关系。由此可见，自动控制系统的方框图可简可繁，应根据对控制系统研究的需要而定。

三、自动控制系统的分类

按控制系统的结构来分，分为开环控制系统、闭环控制系统和复合控制系统。开环控制系统是指控制器与被控对象之间只有正向作用，而无反馈现象，控制器只是根据直接或间接反映扰动输入的信号来进行控制的，如图 1－5 所示。

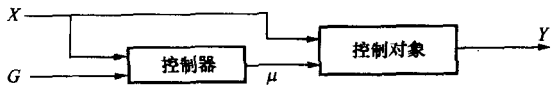



图 1－5　开环控制系统方框图

在这个系统中控制器接受了对象输入端的扰动信号 $X$，一旦有扰动发生，控制器可按预定的控制规律对被控对象产生一个控制作用 $\mu$，以抵消扰动 $X$ 对被控量 $Y$ 的影响。这种控制方式也称为“前馈控制”。从理论上讲，只要按扰动进行的控制量合适，就可能及时抵消扰动的影响，而使被控量不变。但由于没有被控量的反馈，因此控制过程结束后，不能保证被控量等于给定值，在生产过程自动控制中，前馈控制是不能单独使用的，但用扰动补偿的方法来控制被控量的变化是十分有效的、可取的。

闭环控制系统是指控制器和被控对象之间既有正向作用，又有反向联系的系统。由于系统是由被控量的反馈构成闭环回路的，故称为闭环控制系统，如图 1－6 所示。又由于它是按反馈原理工作的，故又称为反馈控制系统。闭环控制系统的控制目的是要尽可能地减少被控量与规定值之间的偏差，因此，它是根据被控量与其规定值的偏差，通过不断反馈，控制，最终消除误差的。闭环控制系统是自动控制中最基本的控制系统，但对于迟延较大的对象，控制过程中会出现数值较大、持续时间较长的被控量偏差。

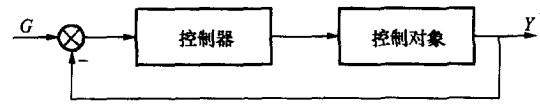



图 1－6　闭环控制系统方框图

在反馈控制的基础上，加入对主要扰动的前馈控制，构成复合控制系统，也称前馈－反馈控制系统，如图 1－7 所示。所谓复合控制实质上是在闭环系统的基础上用开环通道提供一个时间上超前的输入作用，以提高系统的控制精度和动态性能的。当外界扰动 $X$ 作用到控制系统而被控量 $Y$ 还没有反映之前，先由前馈补偿装置进行粗调，尽快使控制作用 $m_1$ 在一开始就能大致抵消 $X$ 的影响，使被控量 $Y$ 不致于发生大的变化。如果由于 $m_1$ 的补偿作用不是恰到好处，则通过闭环回路来进行控制。因此，这类控制对于扰动作用 $X$ 来说，能获得比一般闭环控制更好的控制效果。

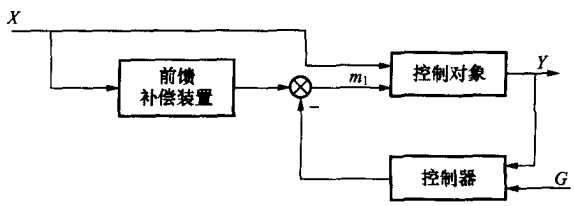



图 1－7　复合控制系统方框图

若按给定值变化的规律可分为定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统。

定值控制系统的规定值在运行中恒定不变，从而使被控量保持（或接近于）恒定。例如锅炉的汽压、汽温、水位等控制系统都是定值控制系统。

程序控制系统的规定值是时间的已知函数。控制系统用来保证被控量按预先确定的随时间变化的数值来改变。例如火电厂锅炉、汽轮机的自启停都是程序控制系统。

随动控制系统的规定值是时间的未知函数，只是按事先不能确定的一些随机因素来改变的。例如，在滑压运行的锅炉负荷控制回路中，主蒸汽压力的规定值是随外界负荷而变化的，其变化的规律是时间的未知函数。此控制回路的任务是使主蒸汽压力紧紧跟随主汽

压力给定值而变，从而实现机组在不同负荷下以不同的主蒸汽压力进行滑压运行。随动控制系统在大型单元机组的自动控制中应用很广。

四、自动控制系统的控制过程

在自动控制系统中，被控量不随时间变化的平衡状态称为系统的稳态或静态；被控量随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态，或称瞬态、暂态。

当一个自动控制系统的输入恒定不变时，整个系统处于相对平衡的状态，系统的各个环节，如变送器、控制器和控制阀等暂不动作，它们的输出都处于相对静止状态。一旦系统受到扰动作用，被控量就会偏离规定值，系统处于动态过程，在动态中，被控量随时间变化的过程称为自动控制系统的控制过程，亦即系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程，如图 1－8 所示，该过程反映了控制系统工作品质的好坏。评价控制系统的好坏，通常是在相同的典型输入信号作用下，比较它们输出信号的过渡过程曲线所表现出来的特征，这些特征也与输入信号的种类有关。在热工过程自动控制中，最常用的是单位阶跃输入，其数学表达式为

$$x(t) = 1(t) = \begin{cases} 0 & (\text{当 } t < 0 \text{时}) \\ 1 & (\text{当 } t > 0 \text{时}) \end{cases} \qquad (1-1)$$

单位阶跃输入的函数如图 1－9所示。

闭环控制系统在阶跃扰动的作用下，经过控制能够达到新的平衡状态，这就叫做稳定控制过程。这种新的平衡状态的被控量可能就在扰动前的数值上，也可能是一个新的数值。稳定的控制过程又分为衰减振荡和非周期过程两种，如图 1－10（a）和（b）所示。对稳定要求较高的过程（如燃烧过程），应采取接近于图（b）的形式；对快速性要求较高，被控量动态误差要求小的过程，（如给水过程），应采取图(a）的形式表示。

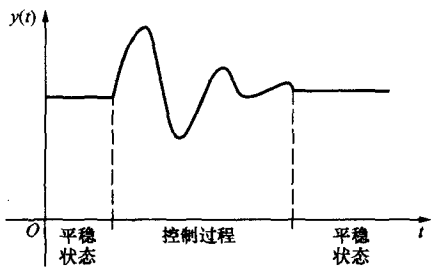



图 1－8　控制过程示意

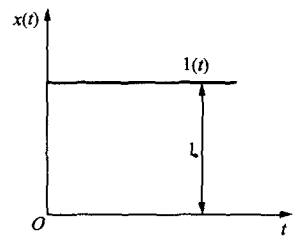



图 1－9　单位阶跃输人的函数曲线

如果闭环控制系统受扰后，其输出量的过渡过程呈发散振荡或等幅振荡的形式，就称为不稳定的控制过程，如图 1－10（c）和（d）所示。图（d）不但不能达到新的平衡，而且偏差时正时负，振幅越来越大，直到发生破坏作用或受到限幅保护装置的干涉为止，这种控制系统是不稳定的；图（c）不能达到新的平衡，被控量和控制作用都作等幅振荡，这种情况称为边界稳定，也属于不稳定的范畴。

五、自动控制系统的性能指标

自动控制系统的性能一般从三个方面，即稳定性、准确性和快速性来衡量。

需要全本请访问 www.ertongbook.com

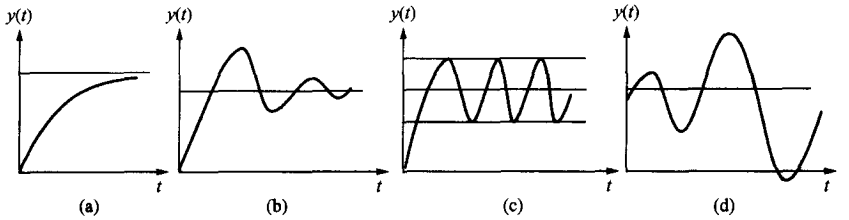



图 1－10　过渡过程的几种基本形式

(a) 衰减振荡；(b) 非周期过程；(c) 等幅振荡；(d) 发散振荡

(1) 稳定性。一个自动控制系统能否应用，稳定性是必要条件，不稳定的系统在生产上是不能采用的，只有稳定的系统才能完成正常的控制任务。控制系统的稳定程度一般可用衰减率来表示。衰减率是指每经过一个周期，被控量波动幅值的相对衰减量，即

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = 1 - \frac{y_3}{y_1} \tag{1-2}$$

由图 1－11，根据 $\psi$ 的数值，便可很容易地判断控制过程的性质。若 $\psi < 0$，则为发散振荡过程；$\psi = 0$，则为等幅振荡过程；$0 < \psi < 1$，则为衰减振荡过程；$\psi = 1$，则为非周期过程。

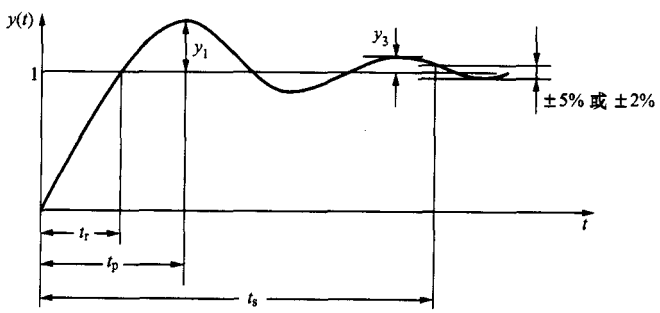



图 1－11　单位阶跃响应

在实际生产过程中，不仅要求系统是稳定的，还要求有一定的“稳定裕量”，以保证在每次控制过程中振荡次数不致过多（约 2～3 次）。一般 $\psi = 0.75 \sim 0.90$。

(2) 准确性。它是指被控量偏差的大小，包括动态偏差和静态偏差。

动态偏差是指控制过程中被控量偏离规定值的最大偏差值；静态偏差是指控制过程结束后被控量与规定值之间的残余偏差，最大静态偏差往往出现在负荷变动幅度最大的时候，为了提高生产设备对变动负荷的自适应能力，有意造成静态偏差。例如单元机组中的锅炉出口汽压就可能在低负荷时维持较高的数值，而在高负荷时维持较低的数值。动态偏差和静态偏差都应不超过生产所允许的变动范围。

(3) 快速性。它是指控制过程持续的长短，通常用控制时间 $t_s$ 表示，响应曲线衰减到与稳态值之差不超过 ±5%或 ±2%时所需要的时间定义为控制时间。一般希望 $t_s$ 小些，$t_s$ 越小，说明系统从一个稳态过渡到另一个稳态所需要的时间越短，这样就能保证在下一次扰动来到之前，上一次扰动所引起的控制过程已经结束；反之，若 $t_s$ 越大，则控制过程所需要的时间越长，不能满足系统对控制的快速性要求。

系统的稳定性、准确性和快速性三者常常是互相矛盾、互相制约的，不能片面追求某

一指标，一般总是首先满足稳定性要求，再力求偏差小，过渡过程时间短。除此之外，对控制系统的要求，还应使它满足与运行条件有关的其他一些要求，例如有些生产过程对被控量的变化速度有一定限制，有的对控制作用的变化速度和动作方式有一定限制等。

## 第二节　程序控制与热工保护

### 一、程序控制与热工保护的概念

大型火电机组的自动化包含热工测量、自动调节、程序控制、热工保护等内容，其中程序控制与热工保护这两项实用控制技术，对提高自动操作水平和保护机组安全运行至关重要。程序控制和热工保护都属于开关量控制。

程序控制系统（SCS）主要用于主、辅机的自动启停操作和局部工艺系统的运行操作。程序控制系统按照预先规定好的顺序、时间或条件，使生产工艺过程中的设备依次自动地进行一系列操作。程序控制有时也称为顺序控制，在这类控制系统中，检测、运算和控制用的信息全部是开关量信息。

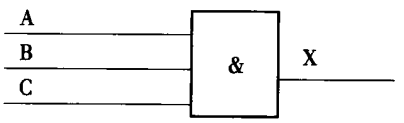
热工保护的主要作用是当机组在启停和运行过程中发生危及设备和人身安全的故障时，自动采取保护或连锁措施，防止事故的发生和避免事故的扩大，从而保证机组的正常启停和安全运行。热工保护系统中，检测、运算和控制用的信息也全部是开关量信息，从实现方式上讲基本一致，而且已经紧密地融合在一起。

### 二、基本逻辑运算

开关量控制主要通过一定的逻辑运算实现，逻辑运算主要包括下列内容。

1.“与”（AND）门

逻辑符号：

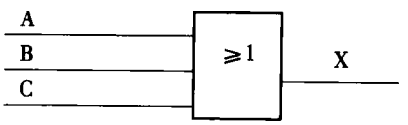



输入输出关系：只有所有信号都存在时才产生一个输出信号。

表达式：$X = A \cdot B \cdot C$

2.“或”（OR）门

逻辑符号：




输入输出关系：只要所有信号中有一个存在，输出信号便存在。

表达式：$X = A + B + C$

3.“非”（NOT）门

逻辑符号：

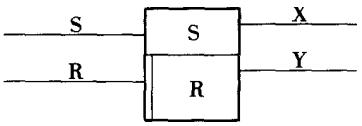



输入输出关系：只有输入信号不存在时才有输出。

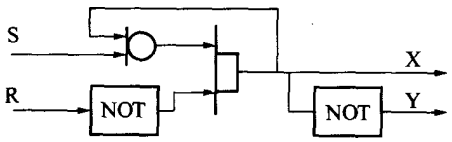
表达式：Y = X

4，存贮器(MEMORY)

逻辑符号：




逻辑电路：

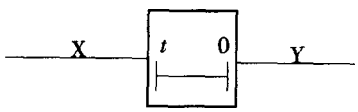



它是一种置位、复位触发器，具有记忆逻辑信号的作用。其中：S为置位端，R为复位端。S端送来一个正脉冲（R端为“0’，电平）时，存贮器的输出端X为“1”，它将S端的信号保持下来，在S端变为“0’,时，X仍为“1”,所以称为保留存储器。当R端送来一个正脉冲时，则X变为“0”。

5. 时间延迟器（Time Delay）

(1) 延时接通。

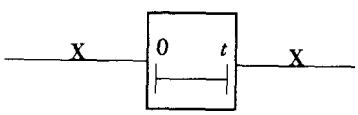
逻辑符号：




延时器接通接到信号后，经过一定时间的延时产生输出信号，如果输入信号消失，则输出信号也即失去。

(2) 延时断开。

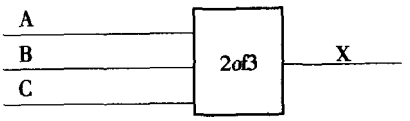
逻辑符号：




延时器接到信号时即有输出信号，输入信号消失后，经过时间设定器所设定的时间后，输出信号消除。

6. “2/3’，计算(2/3Count)

逻辑符号：

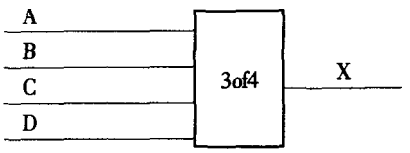



当三个输入端中有两个或两个以上有输入信号输入时，则产生一个输出信号。

表达式：X = AB + BC + CA

7. “3/4”计算(3/4Count)

逻辑符号：




当输入端中有三个或三个以上有输入信号输入时，则产生输出信号。

表达式：X = ABC + BCD + CDA + DAB

三、程序语言

在电厂的发电机组中，程序控制和热工保护大部分包含在 DCS 中，其用户程序的编写方法与 DCS 的编程方法相同，这里不再赘述。在有的机组中程序控制和热工保护用可编程序控制器（简称 PLC）实现，为了工程技术人员掌握方便，PLC 创立了一套易学、易懂的编程语言。不同生产厂家、不同机型的 PLC 采用的编程语言不同。常用的编程语言有下列几种。

1. 流程图语言

流程图语言能够比较直观地表达生产过程程序控制的进行过程，流程图中包括分支、循环以及逻辑运算。图 1 - 12 是锅炉定期排污的流程图。

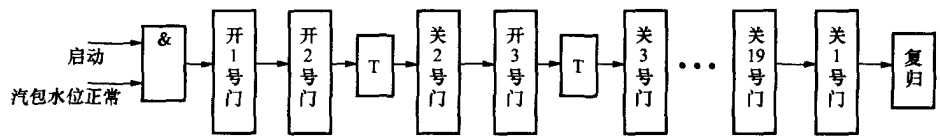



图 1 - 12　锅炉定期排污流程

2. 逻辑图语言

逻辑图语言是一种与逻辑控制图相类似的编程语言，用统一规定的“与”、“或”、“非”等逻辑图符号连接而成。图 1 - 13 为一逻辑图。

3. 梯形图语言

这是一种与继电器控制电路相类似的图形编程语言。PLC 的梯形图是一种利用动合／动断接点、继电器线圈、计时器、计数器、梯形图符号等连接而成的表示 PLC 的输入、输出之间逻辑关系的一种图形。梯形图应按外部输入和输出的要

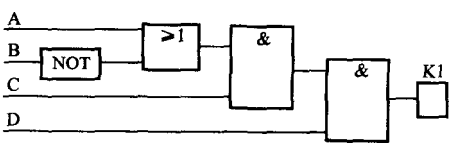



图 1 - 13　逻辑图

求对号接线，利用编程器将梯形图输入主机。熟悉继电器逻辑电路的人，一般很容易掌握梯形图语言。编程器的 LED 液晶显示可直接显示大规模的矩阵梯形图，观察方便。

梯形图的格式按一定要求编制。一般梯形图从上至下按行绘制，两侧的竖线类似电器控制图的电源线，称作母线（BUS BAR）。每一行从左至右，左侧总是安排输入接点，并且将并联接点多的支路靠近最左端，输入接点不论是外部按钮、行程开关，还是继电器触点，在图形符号上只用动合或动断接点，而不计其物理属性。输出线圈用圆圈或括号表示，一般输出线圈放在每一支路的最右边。每个梯形图由多个网络组成，网络由梯级组成，在网络中行和列的交点处形成节点。编程元件有单节点元件、双节点元件和多节点元件。每个输出元素构成一个梯级，每个梯级可以由多个支路组成。通常线圈不能放在梯形图的最左边。输入、输出、内部线圈、计数器的接点可使用次数不受限制。对程序编写必须从左向右进行。对计数器移位寄存器等多节点元件，程序输入必须按照规定。输入接点、输出线圈不是物理接点和线圈，只对应输入输出的映像区。不能用编程输出线圈直接驱动现场机构，该位的状态必须通过 I/O 组件上对应的输出单元才能驱动现场执行机构。图 1－14 为典型的梯形图。

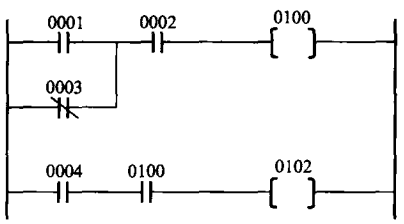


图 1－14　曲型的梯形图

4. 指令语言（助记符语言）

这是一种与计算机汇编语言类似的采用规定指令语句的编程。每条语句是规定 CPU 如何动作的指令，是用户程序的基础单元。

指令语句的构成方式如下：

步序号 ＋操作码 ＋操作数

步序号为指令执行的先后顺序，从零开始，依次递增；操作码用来指定要执行的功能，告诉 CPU 进行什么操作；操作数内包含执行该操作所必须的信息，告诉 CPU 用什么地方的东西执行此操作。

图 1－14 梯形图逻辑用指令语言的形式表示为：

| | | |
|---|---|---|
| 00005 | LD | 0001 |
| 00006 | OR NOT | 0003 |
| 00007 | AND | 0002 |
| 00008 | OUT | 0100 |
| 00009 | LD | 0004 |
| 00010 | AND | 0100 |
| 00011 | OUT | 0102 |

除去以上几种编程语言外，尚有逻辑方程表达式、高级语言编程等方法。

## 第三节　热控专业功能划分

### 一、数据采集与处理系统（DAS）

DAS 是整个单元机组的信息和操作中心，其主要功能应包括如下内容。

(1) 过程变量的采集和处理。过程变量分为两类，一类是模拟信号，如各种热电偶、热电阻测得的温度信号；压力、差压传感器测出的压力、差压、流量、液位信号等，这些信号经过各种变送器转换为 4～20mA 直流电流信号或 1～5V 电压信号后进入 I/O 过程通道。第二类是开关量信号，又称为二进制信号，如各风门、阀门的位置开关信号、各种辅机的启停信号及由生产过程中采集到的其他脉冲信号。 DAS 将整个机组的过程变量周期性扫描采样。数据采集是运行人员监视机组运行状况和自动控制器控制的依据，采样精度和信号质量至关重要。

过程变量的处理包括数字滤波、流量开方、非线形补偿、工程量转换、上下限判断、信号质量判断等。

(2) CRT 显示／操作。CRT 是运行人员与机组联系的重要接口。 DAS 通过 CRT 实现参数和画面显示，包括参数显示、成组参数显示、热力系统显示、报警显示、棒图显示、过程曲线显示、人机对话画面显示等。

(3) 报警监视。通过上下限判断，对过程变量进行越限检查，一旦越限，即在 CRT 上闪烁显示，若连接打印机，则打印。待运行人员确认后，不再闪烁，恢复后，报警切除。报警限值可以是变量上下限，也可以是变化率。报警限值一般由电厂方提供。

(4) 打印。打印的内容和打印格式根据用户的要求编制。打印的格式可分为：定时打印、周期打印、随机请求打印。打印的内容主要包括：周期报表、操作员操作记录、报警记录、事故追忆数据或曲线等。

(5) 性能计算。如锅炉效率、汽轮机效率、发电机效率、煤耗等。

(6) 历史数据存储与检索。

二、顺序控制系统 (SCS)

顺序控制系统又称为开关量控制或二进制控制系统。主要任务是单元机组的主要辅机或功能组进行启停控制和连锁保护，以简化运行人员的操作，确保机组启停和运行安全。

主要辅机有：送引风机、给水泵、磨煤机等，某一辅机的启停都有一定的顺序和逻辑条件。为了实现机组的自启停，一般按生产流程将机组的附属设备和系统划分为若干个执行某一特定功能的组，称为功能组。

大型火电机组 SCS 主要有：送风机系统、引风机系统、一次风机系统、给水泵系统、循环水系统、汽机疏水系统、冷凝器真空系统、汽机油系统等。

三、模拟量控制系统（MCS)

模拟量控制系统属于闭环控制，是保证机组经济运行、最大限度地减轻运行人员的劳动强度、机组投入协调控制的重要组成部分。热工参数经 I/O 通道输入到 DCS，与定值比较后，按预先设定的控制规律进行运算，将运算结果经 I/O 通道输出，去控制执行机构，改变控制量，从而达到改变被控量的目的。

大型火电机组 MCS 系统主要有：主汽温控制系统、主汽压控制系统、燃烧控制系统、给水控制系统、除氧器水位控制系统、热井水位控制系统、流化床锅炉的床温床压控制系统等。

四、协调控制系统（CCS)

协调控制是大型机组重要的控制策略之一。CCS 对机组参与调峰、调频和安全经济运

需要全本请访问 www.ertongbook.com

行极为重要。其基本功能是接受各类负荷指令，根据设备运行的健康状况，发出机炉主控指令，协调机炉工作，使机组满足外界负荷的需要，同时确保自身参数的稳定。

常见的协调控制方式有机炉协调（CCS)、炉跟机(BF)、机跟炉（TF）三种工作方式。当锅炉主控自动，汽轮机主控在手动时，为 BF方式；反之，为 TF 方式；只有当二者都在自动时才为 CCS方式。

五、燃烧器管理系统（BMS)

燃烧器管理系统又称为炉膛安全监控系统，BMS 可以连续监视锅炉在各种运行工况下的状态，随时进行逻辑判断，通过一系列连锁条件，按预定的逻辑顺序对燃烧设备进行操作和控制，异常时发出报警信号乃至停炉。

BMS 包括锅炉保护和燃烧系统顺序控制两部分，其主要功能有：炉膛火焰监视、炉膛自动吹扫、锅炉点火及燃油控制、锅炉投煤和磨煤机组控制、主燃料跳闸（MFT)。

六、数字电液控制系统（DEH)

汽轮机是电厂的重要设备，完成把热能向机械能的转换。汽轮机驱动发电机，将机械能转换为电能，电能上网销售。电网频率是供电质量的重要指标，这就要求汽轮机转速必须稳定在额定值附近。完成对汽轮机控制的自动装置，即为数字电液控制系统，简称DEH。DEH 是高可靠性的汽轮机控制器，DEH 控制系统检测汽轮机的转速和负荷，完成汽轮发电机组的转速和功率控制。DEH 系统的主要控制功能包括：转速控制；负荷控制；机前压力控制和抽汽压力控制；频率控制；负荷限制；阀门控制和阀门管理；完善的超速、超压、超温等保护控制；RUNBACK；FCB。

DEH 还可以进行各项试验：阀门试验、超速试验、严密性试验、注油试验。

七、小机电液控制系统（MEH)

MEH控制锅炉给水泵汽轮机，能够接受 CCS 给水控制系统指令，对给水泵汽轮机进行大范围转速闭环控制。MEH 系统的功能包括：汽轮机挂闸、手动／自动启动、转速控制、高／低压阀门控制、阀门试验、超速保护、超速试验、锅炉给水协调控制。

八、汽轮机旁路控制系统 BPS)

汽轮机蒸汽旁路系统是机组启动、运行和停机过程中不可缺少的系统之一。BPS 通过对高压旁路和低压旁路蒸汽阀门、减温水阀门的控制，实现对蒸汽压力和温度的闭环控制与保护。在启动过程中，BPS控制旁路阀门打开，使旁路系统作为锅炉的负载以便锅炉以较大的燃烧率启动，改善机组启动性能，实现快速升温、升压，缩短启动时间，并将多余的蒸汽由旁路阀门直接引入冷凝器。正常运行的机组快速降负荷时，汽轮机快速关小控制阀门。这样，锅炉产生的蒸汽量和汽轮机通流量之间就会不平衡。旁路控制系统控制旁路阀门排放多余的蒸汽，维持锅炉侧的汽水平衡，提高机组负荷适应性。在发电机甩去全负荷或汽轮机故障停机时，旁路门迅速打开，防止超温超压，保护机组。并提高机组负荷适应性，同时减少或避免锅炉、再热器安全门起跳，避免了汽水损失，回收了工质，提高了经济性。采用调峰运行的机组，启停频繁， BPS可以控制旁路阀门，控制锅炉出口的蒸汽温度与汽轮机的金属温度匹配，从而减少汽轮机大型金属部件的热应力疲劳，减少汽轮机热应力。

BPS旁路控制系统具有液动、电动和气动三种形式，功能包括：高压缸、中压缸或联合启动方式；定压、滑压运行；主蒸汽压力、再热器压力、高压旁后温度、低压旁后温度自动控制；最大、最小开度控制；超温、超压保护、快开、快关保护；升压率、低旁流量限制。

九、汽轮机紧急跳闸系统（ETS）

ETS系统是在汽轮发电机出现紧急情况下，迅速关闭汽轮机进汽阀门，切断汽轮机所有进汽的保护系统。ETS系统采用大规模可编程逻辑器件（CPLD）硬件完成，响应时间短、可靠性高，可以满足各种类型和容量的汽轮发电机保护系统。

ETS监测的项目有：超速；真空、油压低；轴向位移大、机组振动大、差胀大、缸胀超差、偏心大；润滑油、推力瓦、支持轴瓦温度高； DEH失电；发电机系统故障；锅炉燃料跳闸等。

十、汽轮机检测仪表系统（TSI）

TSI是一种可靠的连续检测汽轮发电机组及其关键机械设备的机械工作参数的多路监控系统，并能在被测参数超出预设的极限值发出报警及停机信号。

TSI提供多种不同的机械监视功能：转速监视、轴向位移监视、差胀监视、缸胀监视、偏心监视、振动监视、矢量监视。

## 第四节　控制系统的图例描述

一、结构图

通过结构图能清晰地显示出控制系统的各个环节和组成部分。图 1－15 为过热汽温控制系统的结构图。

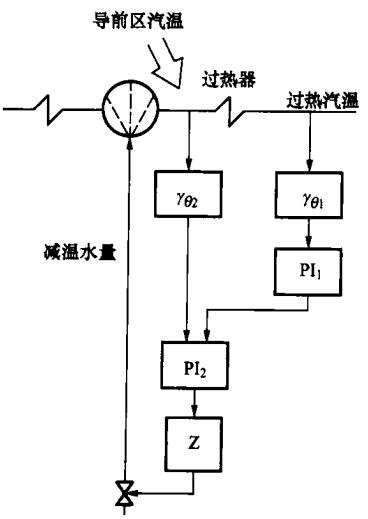



图 1－15　过热汽温控制系统结构图
$\gamma_{\theta 1}$、$\gamma_{\theta 2}$—温度变送器 $PI_1$、$PI_2$—控制器；
Z—执行器

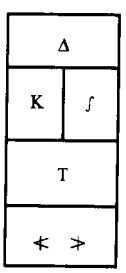



图 1－16　控制器 SAMA 图例

## 二、SAMA 图

在实际应用中，多采用一些标准功能图例来表示控制回路方框图，这些图例基本上采用美国科学仪器制造协会图例（Scientific Apparatus Maker's Association），简称 SAMA 图。采用 SAMA 图例，易于理解，能清楚地表示系统功能。

我们用 SAMA 图表示回路方框图时，常将一些符号画在一起，这表示一个具体的仪表（或组件）具有的功能，这样在回路方框图中又清楚地表达了使用多少具体组件，例如最常用的控制器可以用图 1－16 表示。这组组合图例表示控制器有以下功能：求测量和给定信号的偏差、对偏差值进行比例积分（PI）运算、手／自动切换、输出限幅。如图 1－17 所示过热汽温控制系统的 SAMA 图。

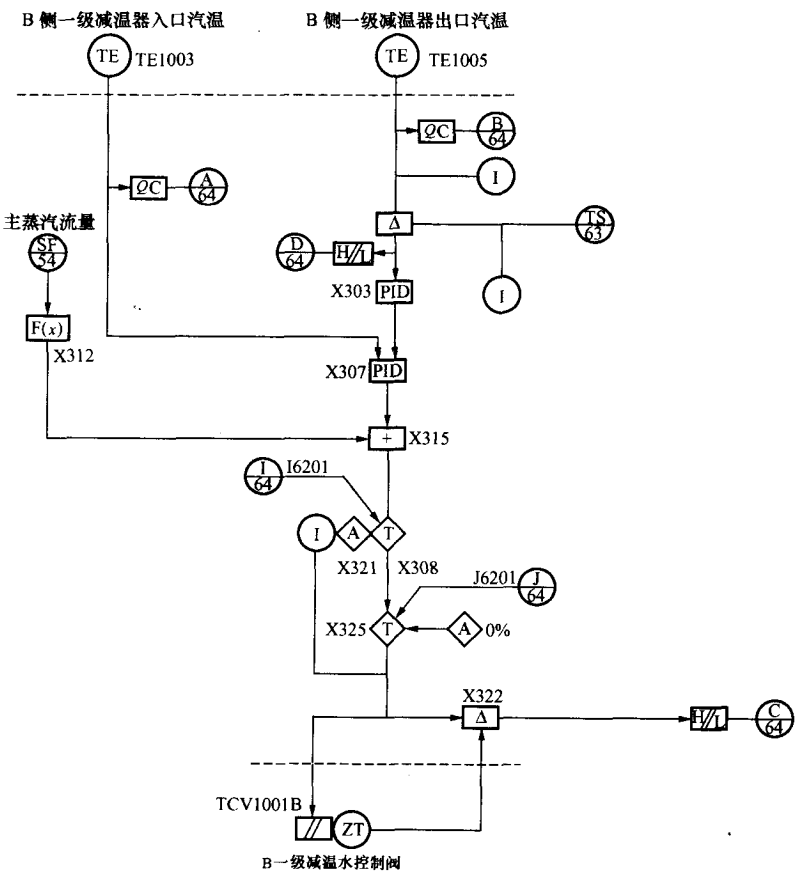



图 1－17　过热汽温控制系统的 SAMA 图

## 三、组态图

控制系统的方案可以用 SAMA 图表示出来，但 SAMA 图只是一种功能图，不是仪表接线图，因此不同仪表实现 SAMA 图时要根据仪表本身的特点作出接线图，称为组态图，如图 1－18 所示。目前用于过程控制的仪表种类繁多，组态图往往由 DCS 供应商提供。这样，设计者只需要提供系统 SAMA 图及相应参数，而系统的生成与静态联调则由系统设计

人员完成，并给出相应的系统组态图。

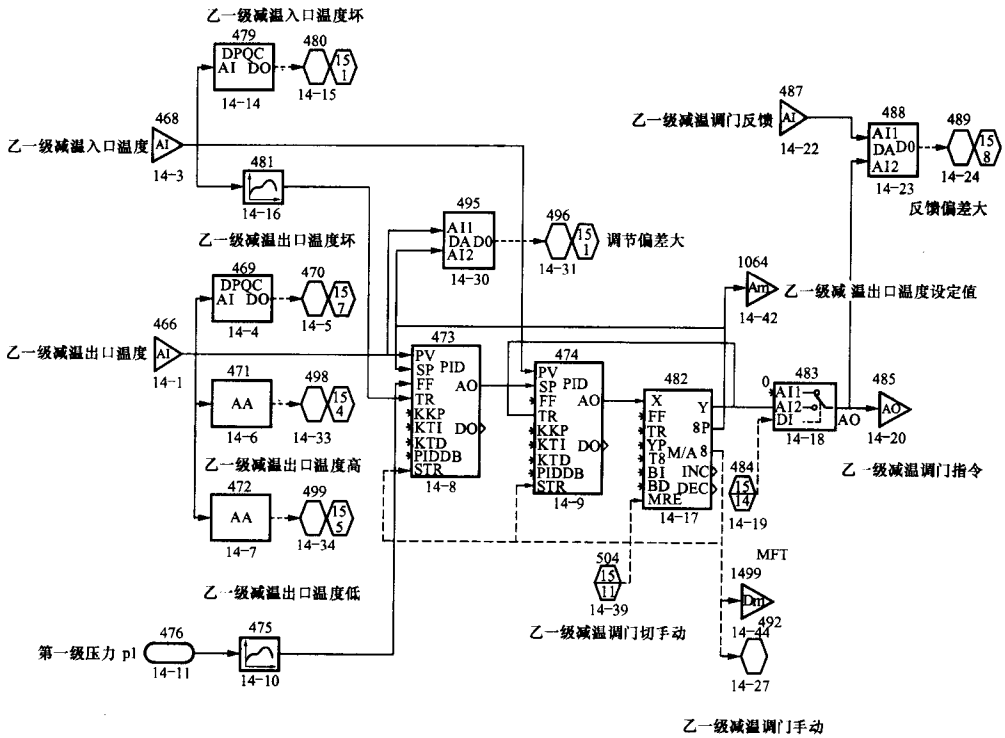



图 1－18　过热汽温控制系统的组态

# 第二章 自动控制原理

## 第一节 环节及环节的描述方法

### 一、环节的特性

自动控制系统是由环节构成的，它是通过环节之间的信号传递和转换来实现自动控制的。因此要分析和研究控制系统，首先要研究每个环节的特性。环节的特性是指输入信号与输出信号之间的函数关系，它们在稳态时的关系称为静态特性；它们在动态时的关系称为动态特性。无论是静态特性或动态特性都是这个环节的内在性质。

研究环节的静态特性具有重要意义，因为当系统处于相对稳定工况下运行时，环节的输入与输出信号的关系由其静态特性决定。例如比例控制器的静态特性决定了被控量有稳态误差。不了解环节的静态特性，就无法正确使用它，但生产过程经常处于变动之中，控制作用正是动态过程中发挥作用的。所以，研究环节的动态特性具有更为重要的意义。

### 二、环节的描述方法

研究环节的动态特性有各种不同的方法，热工控制过程中常用的有微分方程法、传递函数法、频率法及飞升曲线法等。

#### (一)微分方程法

根据物理基本规律对系统进行分析，求出联系输入量和输出量及其导数的微分方程（也叫动态方程），用于描述系统的动态特性，这种方法称为微分方程法。微分方程法是动态特性的基本表达方式。对于结构比较简单、性质比较单纯的器件或设备，用微分方程表示其动态特性具有比较简单、定量准确、直观等优点。

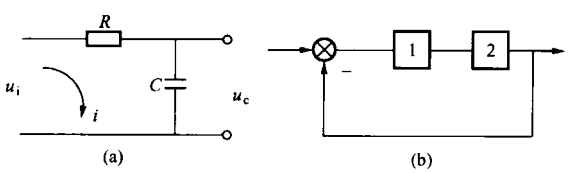



图 2-1 RC 滤波器

下面举例说明微分方程的建立过程。

(1) 阻容滤波器。如图 2-1 (a) 所示阻容滤波器的输入量为电压 $u_i$，输出量为电压 $u_c$，它的动态过程可用图 (b) 的方框图表示。

环节 1 是输入电压 $u_i$ 与 $u_c$ 的差值变化引起电流 $i$ 的变化。根据欧姆定律可写出方程为

$$i = \frac{u_i - u_c}{R} \tag{2-1}$$

环节 2 代表电压 $u_c$ 随电流 $i$ 对电容的不断充电而改变的过程。若电容两端的初始电压为零，则其动态方程为

$$u_c = \frac{1}{C}\int_0^t i\mathrm{d}t \tag{2-2}$$

由式（2-1）和式（2-2）消去中间变量 $i$ 可得到阻容滤波器的动态方程式为

$$RC\frac{\mathrm{d}u_c}{\mathrm{d}t} + u_c = u_i \tag{2-3}$$

（2）双容水箱。如图 2-2（a）所示双容水箱的输出量是第二个水箱的液位 $h$，可能会引起输出量变化的因素有流入量 $Q_1$ 和流出量 $Q_3$。$Q_1$ 和 $Q_3$ 的变化同时还会影响到第一水箱的液位 $h_1$ 和中间连通管中的流量 $Q_1$。它们之间的相互作用关系如图 2-2（b）所示。

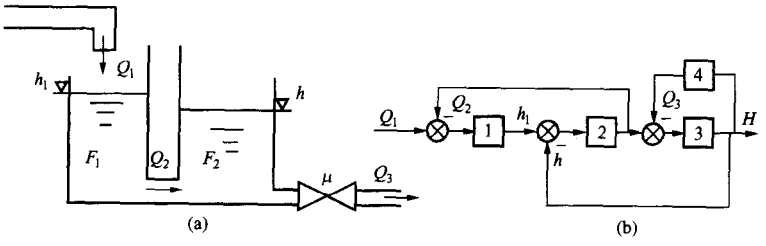



图 2-2　双容水箱

（a）结构示意图；（b）方框图

环节 1 代表了 $Q_1$ 和 $Q_2$ 的流量差引起第一个水箱液位 $h_1$ 变化的过程。根据物质平衡原理可写出方程

$$(Q_1 - Q_2)\mathrm{d}t = F_1\mathrm{d}h_1$$

$$F_1\frac{\mathrm{d}h_1}{\mathrm{d}t} = Q_1 - Q_2 \tag{2-4}$$

式中　$F_1$——第一水箱的截面积。

环节 2 代表了两个水箱中液位差（$h_1 - h$）改变引起连通管中流量 $Q_2$ 变化的过程。设液体流动中的阻力为 $R$，若（$h_1 - h$）变化不大，可认为与 $Q_2$ 之间存在线性关系，则

$$Q_2 = \frac{h_1 - h}{R} \tag{2-5}$$

环节 3 代表第二个水箱进出口的流量差（$Q_2 - Q_3$）引起液位 $h$ 变化的过程。同样根据物质平衡原理写出方程

$$(Q_2 - Q_3)\mathrm{d}t = F_2\mathrm{d}h$$

$$F_2\frac{\mathrm{d}h}{\mathrm{d}t} = Q_2 - Q_3 \tag{2-6}$$

环节 4 代表了第二个水箱的水位 $h$ 改变引起流量 $Q_3$ 变化的过程。设液体流经 $\mu$ 时的阻力为 $r$，则

需要全本请访问 www.ertongbook.com