

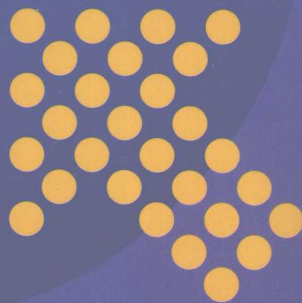
21世纪高等学校规划教材



REGONG ZIDONG YU BAOHU

热工自动与保护

王付生 主 编
李 军 副主编



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

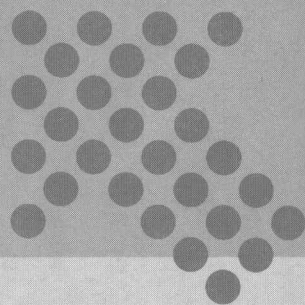
21世纪高等学校规划教材



REGONG ZIDONG YU BAOHU

热工自动与保护

主 编 王付生
副主编 李 军
编 写 齐宪华
主 审 张承进



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书全面地介绍了自动控制系统的基础知识、组成、热工顺序控制与保护,讲述了机组协调控制等实用技术。主要包括:自动控制原理,变送器、执行器及分散控制系统,常见的热工自动控制系统,热工保护与顺序控制,汽轮机数字电液控制系统,协调控制系统,并在最后附有热工控制系统 SAMA 图例便于读者学习、掌握。

本书从电厂工程实际应用角度出发,注重理论联系实际。在取材方面,既包括了自动控制的基本概念、原理和方法,又包括了热工控制在电厂实际中的应用。

本书可作为普通高等教育本科热能与动力工程专业,高职高专电力技术类电厂热能动力装置、火电厂集控运行专业,高职高专自动化类生产过程自动化技术专业的教材,也可供从事电厂生产实际工作的热控技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工自动与保护/王付生主编. —北京:中国电力出版社, 2009

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978-7-5083-8736-9

I. 热… II. 王… III. ①火电厂-热力工程-自动化系统-高等学校-教材 ②热电厂-热工操作-保护装置-高等学校-教材 IV. TM621

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 060098 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路 6 号 100044 <http://jc.cepp.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2009 年 7 月第一版 2009 年 7 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.75 印张 457 千字

定价 29.80 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前言

随着我国大型机组的应用和发展,热控技术日益重要。为满足高职高专热动、集控等相关专业的教学需要,由国家电网技术学院/山东电力高等专科学校/山东电力研究院编写了此书。

本书从电厂工程实际应用角度出发,注重理论联系实际。在取材方面,既包括了自动控制的基本概念、原理和方法,又包括了热工控制在电厂实际中的应用。在内容编排方面,深入浅出、易学易懂。本书可作为高等院校相关专业的教材,也可作为现场技术人员的技术参考书。

全书共分七章。第一章介绍热控专业的基本概念,第二章介绍自动控制理论基础,第三章介绍变送器、执行器、可编程控制器及分散控制系统,第四章介绍常见的热工自动控制系统,第五章介绍热工保护与顺序控制,第六章介绍汽轮机数字电液控制系统,第七章介绍协调控制系统。

国家电网技术学院、山东电力研究院和山东电力高等专科学校院校合一,控制工程系和热控工程研究所系所合一,产学研一体化,承担监督服务、教育培训、新机调试、科研开发等多项职能。在本书编写过程中,编者根据多年的教学、调试和监督服务经验,突出实用性,淡化繁琐的理论推导,力求把新技术、新设备、工程实际经验融入教材中。

本书由王付生教授主编,并编写第一、二、七章,李军老师副主编,并编写第三、五、六章,齐宪华老师编写了第四章。全书由山东大学张承进教授主审。

在本书的编写过程中,得到了毕贞福教授、刘正华、于鹏娟、张志钢副教授以及赵燕平、孟祥荣高级工程师等同志的热情帮助,在此一并表示衷心的感谢。

由于生产和教学任务繁重,作者水平所限,书中不足之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2009年5月

目 录

前言	
第一章 热控专业基本概念	1
第一节 生产过程的自动控制	1
第二节 程序控制与热工保护	6
第三节 热控专业功能划分	10
第四节 控制系统的图例描述	12
第二章 自动控制理论基础	15
第一节 环节及环节的描述方法	15
第二节 典型环节及其动态特性	21
第三节 环节的基本连接及其综合传递函数	32
第四节 自动控制器的控制规律	37
第五节 热工控制对象的动态特性	42
第六节 自动控制系统的分析	46
第七节 现代控制理论	59
第三章 自动控制设备	68
第一节 智能变送器	68
第二节 执行器	73
第三节 可编程控制器	85
第四节 分散控制系统基础知识	93
第五节 分散控制系统的硬件系统	97
第六节 分散控制系统的软件系统	101
第四章 热工过程自动控制系统	108
第一节 汽包锅炉给水控制系统	108
第二节 汽温控制系统	127
第三节 汽包锅炉燃烧自动控制系统	140
第四节 直流锅炉自动控制系统	155
第五节 循环流化床锅炉的控制	161
第五章 热工保护与顺序控制	176
第一节 顺序控制	176
第二节 锅炉侧主要保护系统	184
第三节 火焰检测系统	187
第四节 炉膛安全监控系统	193
第五节 汽轮机保护系统	205
第六节 热工连锁保护系统	219

第六章 汽轮机数字电液控制系统.....	229
第一节 汽轮机自动控制系统的发展.....	229
第二节 汽轮机自动调节系统的基本原理.....	230
第三节 DEH 控制系统综述	235
第四节 DEH 的自动控制系统	237
第五节 汽轮机自动控制.....	245
第六节 DEH 的液压伺服系统	247
第七节 DEH 的保护和危急遮断系统	251
第八节 旁路控制系统.....	256
第七章 协调控制系统.....	263
第一节 协调控制系统的组成.....	263
第二节 协调控制系统的分类及运行方式.....	265
第三节 300MW 单元机组协调控制系统实例	272
第四节 自动发电控制.....	280
附录 协调控制系统 SAMA 图	285
参考文献.....	292

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 所示为锅炉汽包水位进行人工控制的示意。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。运行人员就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,这种表示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。

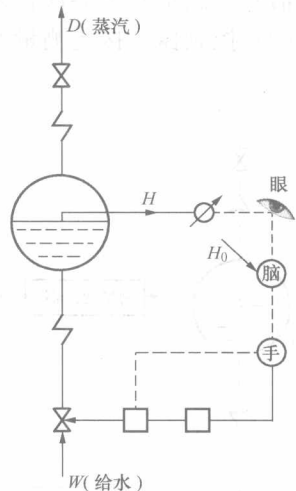


图 1-1 锅炉汽包水位的控制示意

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,当汽包水位为给定值,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。

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,按两者误差的大小、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。

(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, 人工控制越来越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。

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来表示。例如, 在

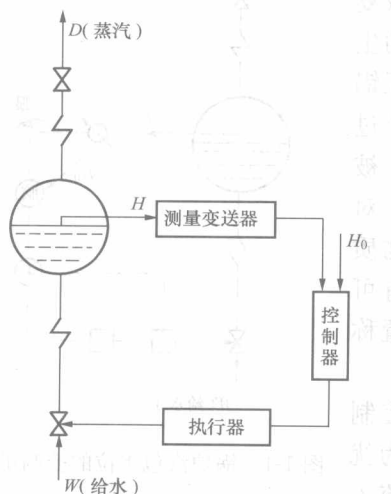


图 1-2 锅炉汽包水位自动控制示意

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。

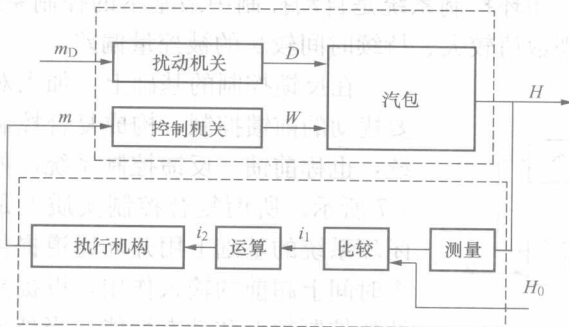


图 1-3 给水控制系统方框图

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

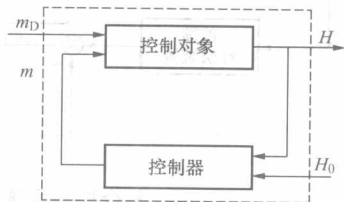


图 1-4 控制系统方框图

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,如图 1-5 所示。

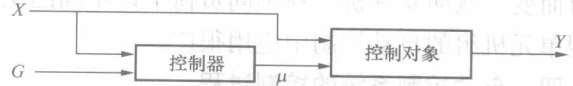


图 1-5 开环控制系统方框图

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 μ ,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调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

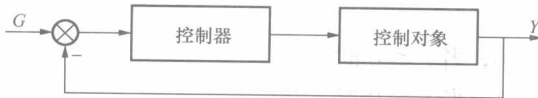


图 1-6 闭环控制系统方框图

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。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。

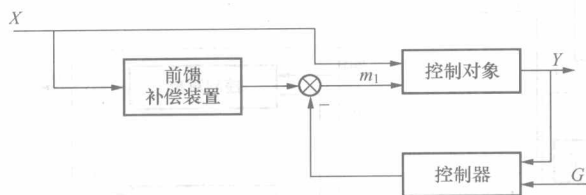


图 1-7 复合控制系统方框图

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。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 不至于发生大的变化。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。

若按给定值变化的规律来分，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，比较它们的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

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

单位阶跃输入的函数如图 1-9 所示。

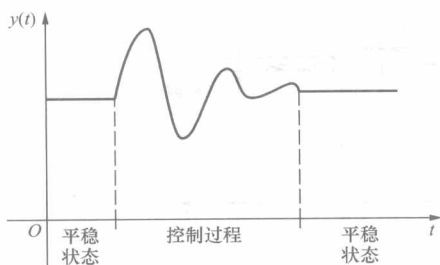


图 1-8 控制过程示意

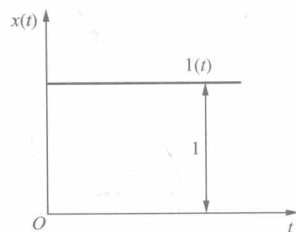


图 1-9 单位阶跃输入的函数曲线

闭环控制系统在阶跃扰动作用下，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，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)、(b) 所示，其中，图 1-10 (a) 是非周期过程，图 1-10 (b) 是衰减振荡过程，对稳定要求较高的过程（如燃烧过程），应采取接近于图 1-10 (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），应采图图 1-10 (a) 的形式表示。

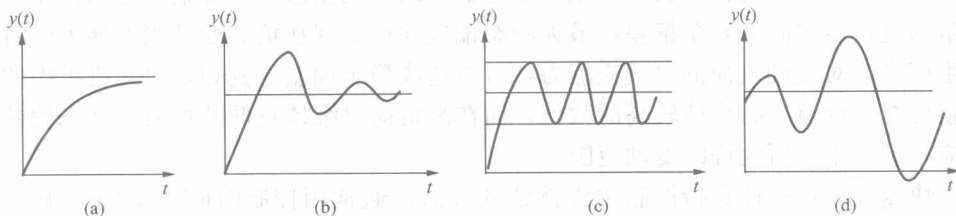


图 1-10 过渡过程的几种基本形式

(a) 非周期过程；(b) 衰减振荡；(c) 等幅振荡；(d) 发散振荡

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)、(d) 所示。图 1-10 (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 1-10 (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。

(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

$$\Psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = 1 - \frac{y_3}{y_1}$$

由图 1-11 可知，根据 Ψ 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；

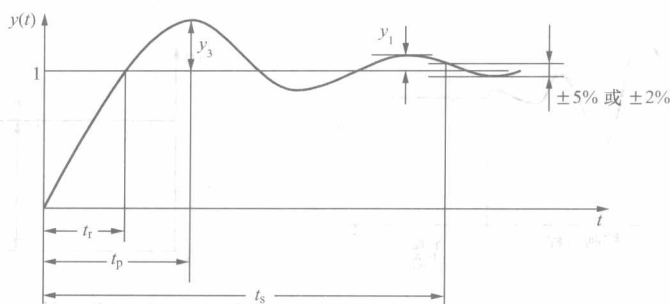


图 1-11 单位阶跃响应

$0 < \Psi < 1$, 则为衰减振荡过程;

$\Psi = 1$, 则为非周期过程。

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 (2~3 次)。一般 $\Psi = 0.75 \sim 0.90$ 。

(2) 准确性。准确性是指被控量偏差的大小, 它包括动态偏差 y_m 和静态偏差 y_∞ 。

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。快速性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 $\pm 5\%$ 或 $\pm 2\%$ 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, 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。

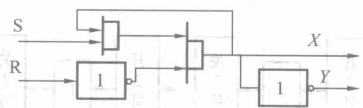
表达式： $Y = \bar{X}$

4. 存储器 (MEMORY)

逻辑符号：



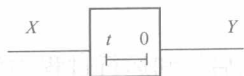
逻辑电路：



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，存储器的输出端 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，则 X 变为“0”。

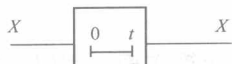
5. 时间延迟器 (Time Delay)

(1) 延时接通。其逻辑符号为



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

(2) 延时断开。其逻辑符号为



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)

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。

逻辑符号:



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 是锅炉定期排污流程图。

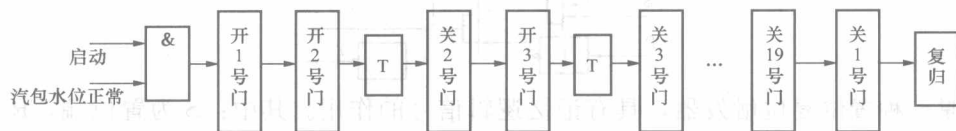


图 1-12 锅炉定期排污流程图

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常开、常闭触点、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，左侧总是安排输入触点，并且将并联触点多的支路靠近最左端，输入触点不论是外部按钮、行程开关，还是继电器触点，在图形符号上只用常开或常闭触点，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象区。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 所示为典型的梯形图。

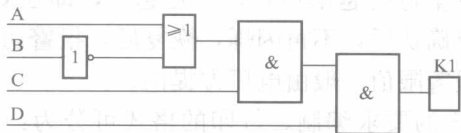


图 1-13 逻辑图

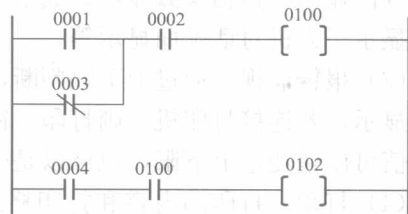


图 1-14 典型的梯形图

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需的信息，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、非线性补偿、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,确保机组起停和运行安全。

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、汽轮机疏水系统、冷凝器真空系统、汽轮机油系统等。

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、主蒸汽压力控制系统、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;只有当两者都在自动时,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;RUN-BACK;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、小汽轮机电液控制系统 (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和减温水阀门的控制,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凝汽器。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