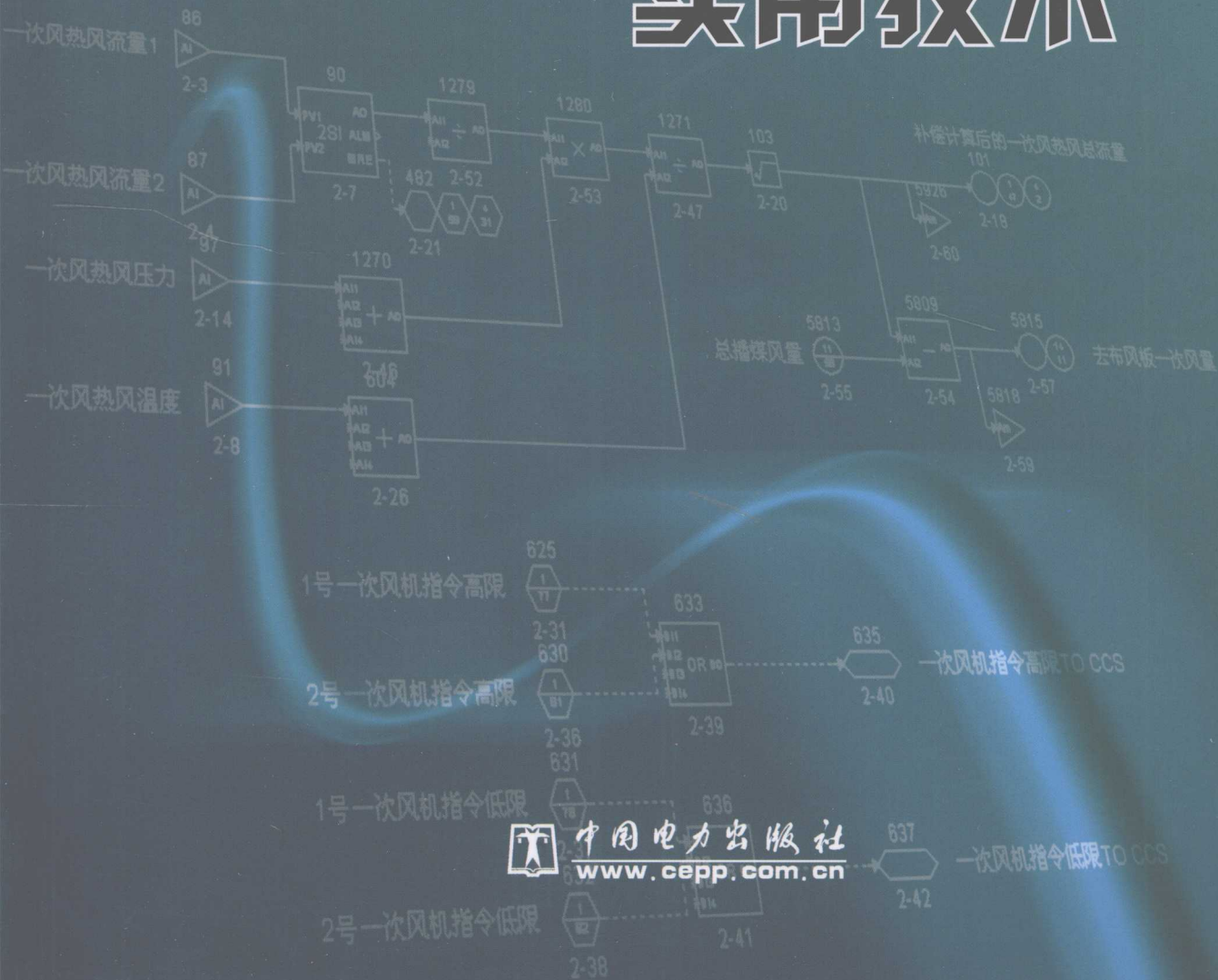


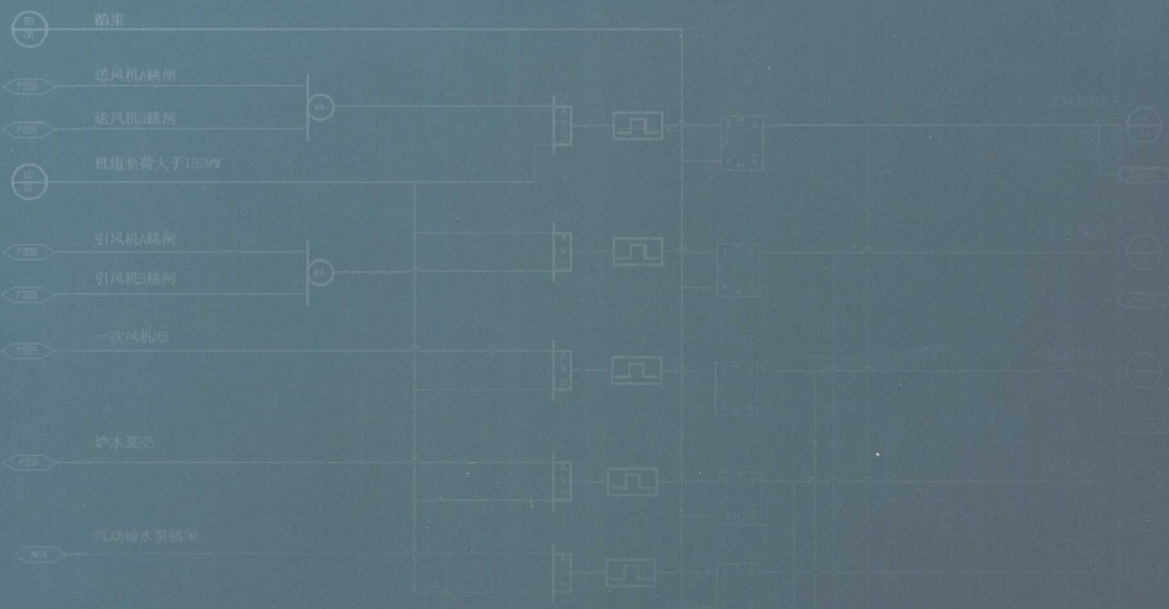
毕贞福 主编

王文宽 孟祥荣 副主编

火力发电厂 热工自动控制 实用技术



责任编辑：彭莉莉



ISBN 978-7-5083-6246-5



9 787508 362465 >

定价：26.00 元

销售分类建议：电力工程/火力发电

火力发电厂

热工自动控制

实用技术

主 编 毕贞福
副主编 王文宽 孟祥荣
参 编 齐宪华



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书面向火电厂热工自动控制的工程实际应用,阐述了火电机组汽包锅炉给水控制系统、汽包锅炉汽温控制系统、汽包锅炉燃烧自动控制系统、循环流化床锅炉控制系统、汽轮机数字电液控制系统、协调控制系统、机组一次调频以及机组RB技术的工程设计、调试、试验以及日常运行维护等内容,另外还简要介绍了热工自动控制的基础知识。

本书可以作为火电厂热工自动控制专业从事设计、调试、运行以及检修工作的工程技术人员和科研人员的参考资料,对高等院校,尤其是高职高专学校中相关专业的师生进行工程实际教学也有参考价值。

图书在版编目 (CIP) 数据

火力发电厂热工自动控制实用技术/毕贞福主编. —北京:
中国电力出版社, 2008

ISBN 978-7-5083-6246-5

I. 火… II. 毕… III. 火电厂-热力系统: 自动控制系统
IV. TM621.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 174682 号

中国电力出版社出版、发行

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

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2008 年 2 月第一版 2008 年 2 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 15 印张 400 千字
印数 0001—3000 册 定价 26.00 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



热工自动控制专业在火电厂中的地位越来越重要，现在关于热工专业的各类参考书籍也很多。本书作者力求根据我们 10 多年在工程一线从事火电机组热工自动控制的实际工作经历，并参考众多的技术资料，撰写、编著一本贴近工程实际、对于现场技术人员来说既实用又简单易懂的技术参考书，以与广大同行共享我们的实际经验。基于上述出发点，我们完成了本书。

本书内容共分九章。第一章为热工自动控制基础知识，考虑全书内容的完整性，本章加入了少量基本的控制理论知识，也方便感兴趣的读者了解自动控制理论要点。第二章至第四章分别为汽包锅炉的给水自动控制系统、汽温自动控制系统、燃烧自动控制系统的工程设计、调试、试验以及日常运行维护等内容。第五章介绍了近几年投入使用的循环流化床锅炉的相关控制问题。第六章从理论和工程方面阐述了汽轮机数字电液控制系统（DEH），包括 DEH 的基本原理、主要运行方式、设计要点、技术指标以及工程实施等内容。第七章阐述了协调控制系统和 AGC 的工程设计调试等内容。最近几年来，电网对火电机组的一次调频以及 RB 功能有了严格要求，一次调频和 RB 成为机组的必备功能，第八章和第九两章分别对这两方面进行了探讨，根据作者实施的工程实例，从技术原理、工程逻辑设计、现场试验等方面进行了阐述。

本书力求融入作者相关的实际工作经历，突出工程实用化，避免复杂的理论内容，便于一般现场技术人员快速理解，从而进行现场参考。同时，力求内容完整、符合相关规定、严谨正确。

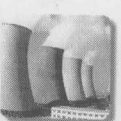
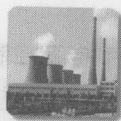
本书由山东电力研究院毕贞福主编，其中，第一章至第四章和第七章由毕贞福编著，第五章由齐宪华编写，第六章由王文宽编写，第八章和第九章由孟祥荣编著。

由于作者时间及水平所限，书中难免有缺点及不足之处，恳请读者批评指正。

编者

2007 年 10 月

目 录



前言

第一章 热工自动控制基础	1
第一节 生产过程的自动控制	1
第二节 热控专业功能划分	6
第三节 火电厂热工自动控制系统的常用控制规律	8
第四节 自动控制系统的分析	12
第五节 控制系统的工程整定方法	15
第六节 热工自动调试措施	19
第二章 汽包锅炉给水控制系统	22
第一节 给水控制系统的对象特性及任务	22
第二节 给水控制系统工程方案设计	25
第三节 给水控制系统投运前的准备工作及基本要求	36
第四节 给水控制系统的调试步骤及注意事项	37
第五节 给水控制系统日常运行中的常见问题、原因分析及对策	41
第三章 汽包锅炉汽温控制系统	47
第一节 过热汽温控制系统的对象特性及任务	47
第二节 过热汽温控制系统工程方案设计	48
第三节 再热汽温控制系统工程方案设计	56
第四节 汽温控制系统投运前的准备工作及基本要求	62
第五节 汽温控制系统的调试步骤及注意事项	63
第六节 汽温控制系统日常运行中的常见问题、原因分析及对策	65
第四章 汽包锅炉燃烧控制系统	70
第一节 燃烧控制系统的对象特性及任务	70
第二节 燃料控制系统工程方案设计	72
第三节 风烟控制系统工程方案设计	82
第四节 燃烧控制系统投运前的准备工作及基本要求	90
第五节 燃烧控制系统的调试步骤及注意事项	92
第六节 燃烧控制系统日常运行中的常见问题、原因分析及对策	97
第五章 循环流化床锅炉控制系统	100
第一节 循环流化床锅炉的特性	100
第二节 循环流化床锅炉控制系统工程方案设计	101
第三节 循环流化床锅炉控制系统投运前的准备工作及基本要求	104
第四节 循环流化床锅炉控制系统运行中的注意事项	106
第五节 循环流化床锅炉控制系统实例	114

第六章 汽轮机数字电液控制系统	124
第一节 DEH 控制系统综述	124
第二节 汽轮机自动调节系统的基本原理	125
第三节 DEH 控制系统的主要运行方式	131
第四节 DEH 控制系统的主要优点	134
第五节 DEH 控制系统的设计要点	135
第六节 DEH 控制系统的技术指标	135
第七节 DEH 控制系统工程实施方案	136
第八节 DEH 控制系统实例	160
第七章 协调控制系统	172
第一节 协调控制系统的分类及运行方式	172
第二节 协调控制系统工程方案设计	180
第三节 协调控制系统投运前的准备工作及基本要求	187
第四节 协调控制系统的调试步骤及注意事项	189
第五节 协调控制系统/自动发电控制系统日常运行中的常见问题、 原因分析及对策	197
第六节 单元机组协调控制系统实例	200
第八章 机组一次调频技术	205
第一节 概述	205
第二节 机组一次调频基本概念	206
第三节 机组一次调频特性	207
第四节 机组一次调频方案设计	207
第五节 机组一次调频对燃烧系统的影响	210
第六节 某区域电网一次调频管理规定解读	211
第七节 一次调频技术应用实例	212
第九章 机组 RB 技术	214
第一节 概述	214
第二节 机组 RB 技术简介	214
第三节 机组 RB 动作原理	215
第四节 机组 RB 与各系统的关系	215
第五节 几种常见的 RB 工况介绍	220
第六节 RB 逻辑	225
第七节 RB 现场试验	229
参考文献	231



热工自动控制基础

在工程和科学技术的发展过程中,自动控制技术起着十分重要的作用。应用自动控制理论和技术,能使人类以前认为做不到的事情成为现实。人造卫星、宇宙飞船、人类登上月球、导弹制导、人工智能、自动驾驶等高精尖技术都离不开自动控制技术。在各种工业部门,例如石油、化工、冶金、机械、轻工、电子、汽车、通信、航空等行业,也都广泛采用自动控制技术,而在电力工业更是离不开自动控制技术。随着自动控制理论和实践的不断发展和完善,在经济、管理、生物、社会学、生态等各种非工程领域,也广泛应用自动控制理论和技术。因此,自动控制技术已经成为最有发展前途的科学技术之一,它的发展趋势更是不可限量。实际上,自动控制技术已经成为现代化社会不可或缺的组成部分。

第一节 生产过程的自动控制

一、人工控制和自动控制

所谓人工控制,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 为锅炉汽包水位人工控制示意。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,直到水位 H 重新恢复到规定的数值 H_0 ,这一操作过程称为控制。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的物理量之一,这种表征生产过程是否正常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。

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)的变化或蒸汽流量(即流出量)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,即流出量发生变化时,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互平衡,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) 观察情况。用肉眼观察指示仪表的数值,以了解生产过程的

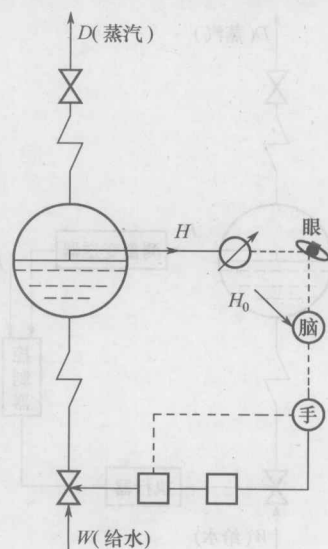


图 1-1 锅炉汽包水位人工控制示意

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送回输入端叫做反馈。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，然后向执行器发出控制信号。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这个工具，例如，图 1-2 所示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

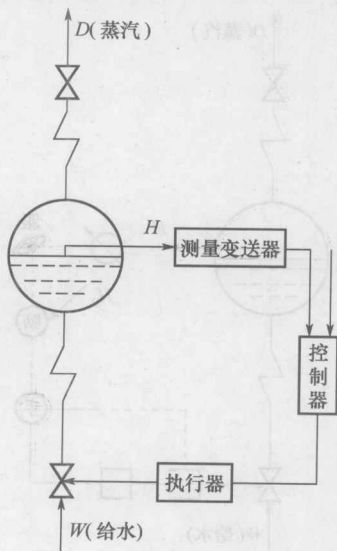


图 1-2 锅炉汽包水位自动控制示意

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 所示的方框图来表示，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，称之为环节，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，例如，对于图 1-3，如果按虚线把控制对象和控制装置分别用一个环节表示，则可画成如图 1-4 所示的方框图。

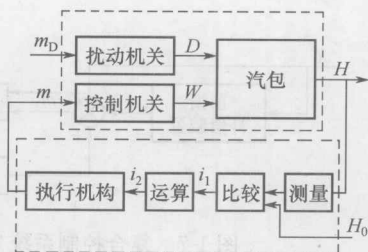


图 1-3 给水控制系统方框图

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

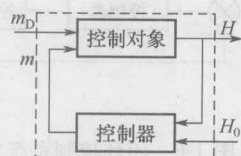


图 1-4 控制系统方框图

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，可分为开环控制系统、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。

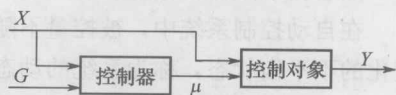


图 1-5 开环控制系统方框图

在开环系统中，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，它是根据被测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。

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。

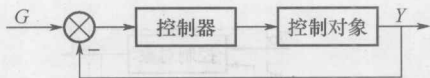


图 1-6 闭环控制系统方框图

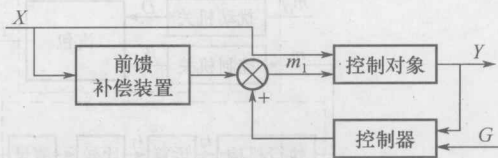


图 1-7 复合控制系统方框图

若按给定值变化的规律来分，有定值控制系统、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由程序控制系统控制的。

随动控制系统的规定值是时间的未知函数，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蒸汽压力给定值而变，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广泛应用。

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

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

单位阶跃输入的函数如图 1-9 所示。

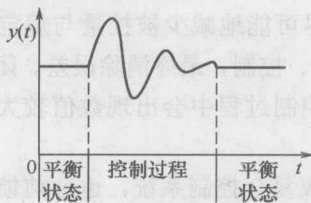


图 1-8 控制过程示意

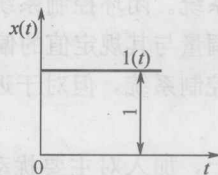


图 1-9 单位阶跃输入的函数曲线

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) 和 (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), 应采用图 1-10 (a) 的形式表示。

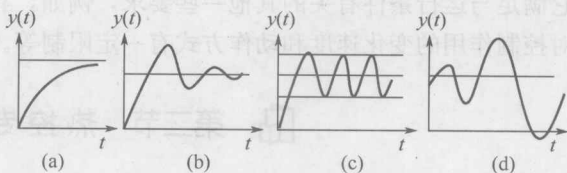


图 1-10 过渡过程的几种基本形式

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 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, 一般从三个方面来衡量, 即稳定性、准确性和快速性。

(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, 被控量波动幅值相对衰减量, 即

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

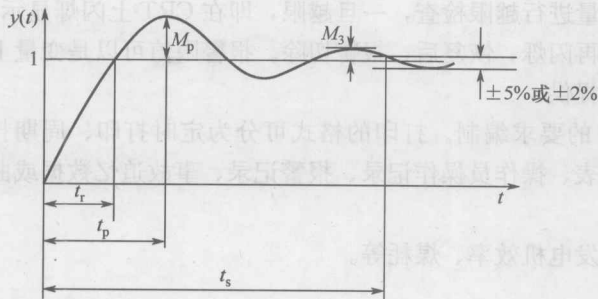


图 1-11 单位阶跃响应

由图 1-11, 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; $0 < \psi < 1$, 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 (约 2~3 次), 一般 $\psi = 0.75 \sim 0.90$ 。

(2) 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气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。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 热控专业功能划分

一、数据采集与处理系统

数据采集与处理系统(DAS)是整个单元机组的信息和操作中心,其主要功能应包括:

(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电流信号或1~5V电压信号后进入I/O过程通道;另一类是开关量信号,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对整个机组的过程变量进行周期性扫描采样。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

顺序控制系统(SCS)又称为开关量控制或二进制控制系统。主要任务是对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,每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功能组主要有:①送风机系统;②引风机系统;③一次风机系统;④给水泵系统;⑤循环水系统;⑥汽轮机疏水系统;⑦冷凝器真空系统;⑧汽轮机油系统等。

三、模拟量控制系统

模拟量控制系统(MCS)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主要有:①主蒸汽温度控制系统;②主蒸汽压力控制系统;③燃烧控制系统;④给水控制系统;⑤除氧器水位控制系统;⑥热井水位控制系统;⑦流化床锅炉的床温床压控

制系统等。

四、协调控制系统

协调控制 (CCS) 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

燃烧器管理系统 (BMS) 又称为炉膛安全监控系统 (FSSS), 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: ①炉膛火焰监视; ②炉膛自动吹扫; ③锅炉点火及燃油控制; ④锅炉投煤和磨煤机组控制; ⑤总燃料跳闸 (MFT)。

六、数字电液控制系统

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 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 的主要控制功能包括: ①转速控制; ②负荷控制; ③机前压力控制和抽汽压力控制; ④频率控制; ⑤负荷限制; ⑥阀门控制和阀门管理; ⑦完善的超速、超压、超温等保护控制; ⑧RB (快速减负荷); ⑨FCB (甩负荷保护)。

DEH 还可以进行各项试验, 如阀门试验、超速试验、严密性试验、注油试验。

七、给水泵汽轮机电液控制系统

给水泵汽轮机电液控制系统 (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 的功能包括: ①汽轮机挂闸; ②手动/自动启动; ③转速控制; ④高/低压阀门控制; ⑤阀门试验; ⑥超速保护; ⑦超速试验; ⑧锅炉给水协调控制。

八、汽轮机旁路控制系统

汽轮机蒸汽旁路系统 (BPS) 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, 旁路阀门迅速打开, 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 可以通过控制旁路阀门, 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 具有液动、电动和气动三种形式, 功能包括: ①高压缸、中压缸或联合启动方式; ②定压、

滑压运行；③主蒸汽压力、再热蒸汽压力、高压旁路后温度、低压旁路后温度自动控制；④最大、最小开度控制；⑤超温、超压保护，快开、快关保护；⑥升压率、低压旁路流量限制。

九、汽轮机紧急跳闸系统

汽轮机紧急跳闸系统(ETS)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：①超速；②真空、油压低；③轴向位移大、机组振动大、差胀大、缸胀超差、偏心大；④润滑油、推力瓦、支持轴瓦温度高；⑤DEH失电；⑥发电机系统故障；⑦锅炉燃料跳闸等。

十、汽轮机检测仪表系统

汽轮机检测仪表系统(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时发出报警及停机信号。

TSI提供多种不同的机械监视功能：①转速监视；②轴向位移监视；③差胀监视；④缸胀监视；⑤偏心监视；⑥振动监视；⑦矢量监视。

第三节 火电厂热工自动控制系统的常用控制规律

自动控制系统是由被控对象和自动控制设备组成的。根据生产过程的要求和被控对象的特性选择相应的控制设备和控制规律。自动控制设备是从被控量到执行机构的全套自动化仪表的总称。其中，变送器对过程参数进行测量和信号转换，控制器发出控制指令，使执行机构动作，最终使生产过程自动地按照预定的规律运行。一个自动控制系统控制品质的好坏，除取决于控制系统的设计是否合理外，还取决于控制规律的控制参数。

自动控制设备是构成自动控制系统的核心部分，它主要包括测量单元、控制单元、执行单元。测量单元和执行单元的动态特性一般都可以近似看作比例环节，因而自动控制器的控制规律主要指控制单元的动态特性，它直接影响着自动控制系统的控制品质。

在一般情况下，被控对象的动态特性是不便于人为地加以改变的。为了得到满意的控制过程，总是根据被控对象的动态特性，选择合适的控制规律。

下面根据目前火电厂热工自动控制工程实际，阐述常用的控制规律。

一、三种基本控制作用

1. 比例控制作用

比例控制作用是指控制器的输出与输入成比例关系。它的动态方程为

$$\mu(t) = K_p e(t)$$

$$\text{或} \quad \mu(t) = \frac{1}{\delta} e(t) \quad (1-1)$$

$$\delta = \frac{1}{K_p}$$

式中 $\mu(t)$ —— 执行机构位移(即控制器的输出)；

$e(t)$ —— 给定值与被控量的偏差；

K_p —— 比例系数或比例增益；

δ —— 比例带。

用传递函数表示为

$$W_P(s) = \frac{\mu(s)}{E(s)} = K_p = \frac{1}{\delta} \quad (1-2)$$

比例控制作用的动作规律是：偏差 $e(t)$ 越大，执行机构输出位移 $\mu(t)$ 也越大；偏差 $e(t)$ 的变化速度 $de(t)/dt$ 越大，执行机构输出位移的速度 $d\mu(t)/dt$ 也越大。

比例控制作用的特点是动作快，对干扰有及时和很强的控制作用。但由于执行机构的位移 $\mu(t)$ 取决于被控量的偏差 $e(t)$ ，因此比例控制的结果是被控量存在着静态偏差。

2. 积分控制作用

积分控制作用是指执行机构的位移量的变化速度 $d\mu(t)/dt$ 与偏差信号 $e(t)$ 成比例的作用，它的动态方程式为

$$\mu(t) = \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt$$

$$\text{或} \quad \frac{d\mu(t)}{dt} = \frac{1}{T_i} e(t) \quad (1-3)$$

式中 T_i ——积分时间常数。

用传递函数表示为

$$W_I(s) = \frac{\mu(s)}{E(s)} = \frac{1}{T_i s} \quad (1-4)$$

积分控制作用的动作规律是：只要对象的被控量不等于给定值 [即偏差 $e(t)$ 存在]，那么执行机构就会不停地动作，而且偏差 $e(t)$ 的数值越大，执行机构的移动速度 $d\mu(t)/dt$ 就越大，只有 $e(t) = 0$ 时，即偏差消失时，执行机构才停止工作。因此，控制过程结束时，被控量一定是无差的。但是，由于积分作用是随时间而逐渐增强的，与比例作用相比过于迟缓，控制不及时。

在实际生产过程中几乎不采用单纯的积分控制作用，只是把积分作用作为控制器控制作用的一个组成部分。

3. 微分控制作用

微分控制作用是指执行机构的位移量 $\mu(t)$ 与被控量的偏差 $e(t)$ 的变化速度成正比，它的动态方程为

$$\mu(t) = T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (1-5)$$

式中 T_d ——微分时间常数。

用传递函数表示为

$$W_D(s) = T_d s \quad (1-6)$$

微分控制作用的特点是：它与比例和积分控制作用相比，具有起始超前和加强控制作用。因为在控制过程刚开始时，被控量的偏差很小，但其变化速度却较大，可使执行机构产生一个较大的位移，有利于克服系统的大惯性。但是微分作用可以放大噪声干扰，影响系统稳定性，因此只有单纯的微分控制作用的控制器是不能使用的，实际微分作用是带有滤波环节的。

综上所述，比例作用可使控制过程趋于稳定，但在单独使用时，使被控量产生静态偏差；积分作用能使被控量无静态偏差，但单独使用时，会使控制过程变得振荡甚至不稳定；微分作用能有效地减小动态偏差，但不能单独使用。由于三种作用各具特点，所以目前工业上常采用比例、比例积分、比例微分、比例积分微分控制器。

二、比例控制器

只有比例控制作用的控制器叫比例控制器 (P 控制器)。它的动态方程和传递函数与比例控制作用相同。控制参数是 δ (或 K_p)。如果执行机构的位移用相对量表示，则 δ 即为执行机构位移改变 100% 时，偏差应有的改变量。

比例控制器的阶跃响应曲线如图 1-12 所示。

三、比例积分控制器

具有比例控制作用和积分控制作用的控制器叫做比例积分控制器 (PI 控制器), 它的动态方程为

$$\mu(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] = \frac{1}{\delta} \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt \right] \quad (1-7)$$

传递函数为

$$W_{PI}(s) = \frac{\mu(s)}{E(s)} = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) = \frac{1}{\delta} \left(1 + \frac{1}{T_i s} \right) \quad (1-8)$$

阶跃响应函数为

$$\mu(t) = \frac{e_0}{\delta} + \frac{e_0}{\delta T_i} t \quad (1-9)$$

式中 e_0 ——阶跃输入信号的幅值。

比例积分控制器的阶跃响应曲线如图 1-13 所示。

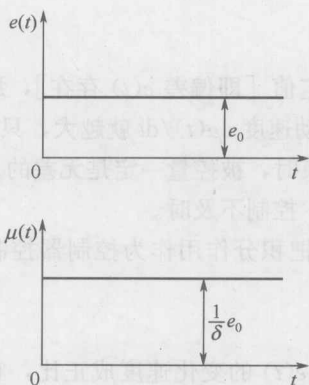


图 1-12 比例控制器的阶跃响应曲线

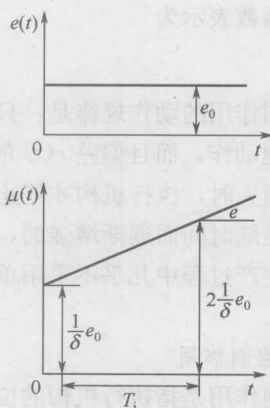


图 1-13 比例积分控制器的阶跃响应曲线

从阶跃响应曲线可以看出当 $t = T_i$ 时, $\mu(t) = 2e_0/\delta$, 即积分时间 T_i 就是当控制器输出 $\mu(t)$ 变化为比例控制作用所造成 $\mu(t)$ 变化的 2 倍所需要的时间。 T_i 越大, 阶跃响应曲线的斜率越小, 积分控制作用越弱。

比例积分控制器有 δ 和 T_i 两个整定系数, 兼有 P 控制作用和 I 控制作用的特点。比例作用保证控制过程的稳定性和快速性, 积分控制作用可保证控制结果无差, 因此, 比例积分控制器在工业上得到广泛的应用。

四、比例微分控制器

具有比例控制作用和微分控制作用的控制器叫做比例微分控制器 (PD 控制器), 它的动态方程式为

$$\mu(t) = K_p \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] = \frac{1}{\delta} \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (1-10)$$

传递函数为

$$W_{PD}(s) = \frac{\mu(s)}{E(s)} = K_p (1 + T_d s) = \frac{1}{\delta} (1 + T_d s) \quad (1-11)$$

式中 T_d ——微分时间常数。

PD 控制器的阶跃响应曲线如图 1-14 (a) 所示, 由于微分作用, 当输入信号阶跃变化时, 输出信号 $\mu(t)$ 立即升至无限大, 并瞬时消失, 余下比例作用响应曲线。