



国家骨干高职院校建设教材

轮机自动化

王 琪 乔红宇 主编



哈尔滨工程大学出版社

LUNJI ZIDONGHUA

轮机自动化

主 编 王 琪 乔红宇
主 审 张锦华



 哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书根据航海类高职院校工学结合的思想及 STCW10 公约要求,从国内外远洋船舶的实际应用出发,着重介绍轮机自动化的基本概念及实际应用系统。

全书分五个项目。项目一为自动控制基础;项目二为船用自动化仪表;项目三为船舶机舱辅助控制系统;项目四为主机遥控系统;项目五为机舱监测与报警系统。

本书取材新颖,内容丰富,论述力求深入浅出,注重理论与实践相结合,强调实用性。本书可作为高职类海运院校轮机工程专业教材及船员培训教材,也可供相关专业技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

轮机自动化/王琪,乔红宇主编. —哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社, 2012. 12

ISBN 978 - 7 - 5661 - 0538 - 7

I. ①轮… II. ①王… ②乔… III. ①轮机 - 自动化 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U664.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 019862 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 黑龙江省委党校印刷厂
开 本 787mm × 1092mm 1/16
印 张 24
字 数 599 千字
版 次 2012 年 12 月第 1 版
印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷
定 价 55.00 元

<http://www.hrbeupress.com>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

南通航运职业技术学院 工学结合教材编写委员会

主 任 杨泽宇

副主任 施祝斌

委 员	沈苏海	王剑华	赵 彤	杨亚新
	龚少军	汤国杰	孙自力	蔡厚平
	马乔林	范玉红	曹京生	刘 岗

序

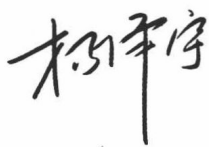
近年来,在国家相关职业教育方针的指引下,我国职业教育现阶段的主要任务已由外延扩展转为内涵建设。在此阶段,教材建设的重要性就愈发凸显。《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020年)》明确提出要将工学结合作为办学模式改革和提高职业教育质量的重点,这一定位决定了高职教材必须反映职业岗位对人才的需求,突出实践技能的培养。为此,南通航运职业技术学院针对当前职业教育出现的新特点,结合不断创新的教学思路和方法,专门成立了工学结合教材编写委员会,举全院之力,精心策划了这套高质量、实用型的工学结合系列教材。

本套教材遵循“服务为宗旨,就业为导向”的基本原则,融合“工学结合、校企合作”的办学理念,以实用为基础,根据企业所需来选取教材内容,着重提高“工学结合、项目引领、任务驱动”内容的比重,突出学生应用能力的培养,满足高职教育“职业性”的本质需求。本套教材中的每一部作品都特色鲜明,集实用性与科学性于一体。

本套教材是南通航运职业技术学院国家骨干高职院校建设子项目“人才培养模式与课程体系改革”研究成果的集中体现,也是南通航运职业技术学院五十多年办学沉淀的积聚之作,充分展现了南通航运职业技术学院多年来专注于办学模式与课程体系改革,专注于教学经验总结的优良传统,具有很高的专业水准。

本套教材的作者都是南通航运职业技术学院各专业的学术带头人和骨干教师,具有丰富的教学经验和写作经验,丛书结构严谨,思路清晰,案例翔实,文笔流畅,充分体现了高职教育教学的“实用性”特点。理论知识深入浅出,言简意赅,实践内容理实一体,学以致用,便于读者对丛书内容的融会贯通。

我衷心希望,本套教材的编写和应用,能够起到国家骨干高职院校的辐射、带动作用,能够进一步推动我国职业教育的办学模式和课程体系改革,促使我国职业教育日臻成熟和完善。我热诚欢迎全国关心高等职业教育的广大读者积极参与到本套教材的建设中来,对本套教材的不当之处给予批评指正。



2012年10月

前 言

《轮机自动化》课程是航海类院校轮机工程专业的一门主干专业课,学好轮机自动化是轮机管理人员正确、高效地管理好自动化机舱的必备条件。

《中华人民共和国海船船员适任证书考试和发证规则》已于2012年3月1日起生效,新的《中华人民共和国海船船员适任证书考试大纲》已于2012年7月1日开始实施。为了更好地帮助轮机员进行考前培训,进一步提高轮机系统自动化维护与管理水平,编者以工学结合的思想编写本书。

本书以履行修订后的《STCW 公约》为前提,根据国家骨干高职院校规划教材的要求,结合海上运输业发展的国际性和信息性等特点,对原使用教材内容做了大量的增删与修改,注重理论联系实际,力图反映国内外轮机自动化的主流技术及发展趋势,力求通过本门课程的教学进一步提高学生分析问题和解决问题的能力,从而适应二十一世纪海上运输业对航海类人才的要求。

本书由王琪和乔红宇主编。分五个项目,共二十二个任务。其中绪论及项目一、项目二由王琪编写;项目三由乔红宇编写;项目四由蔡冬林编写;项目五由安亮编写。全书由王琪统稿并对部分任务内容进行了修改;由南通海事局远洋轮机长张锦华主审。

本教材的编写和出版得到了南通航运职业技术学院同行的大力支持和热情帮助,在此表示衷心的感谢!其中特别感谢龚旭老师、刘向东老师的无私帮助。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,敬请同行专家及读者批评指正。

编 者

2012年7月10日

目 录

项目一 船舶自动控制系统基础理论学习	1
任务一 自动控制系统的认识	1
任务二 控制对象的基本特性	10
任务三 自动控制系统的基本概念	19
项目二 船用自动控制仪表的操作与管理	35
任务一 气动差压变送器的操作	35
任务二 电动差压变送器的操作	53
任务三 船舶机舱常用传感器的维护管理	60
任务四 气动调节器的使用与调整	74
任务五 执行机构的操作与管理	87
项目三 船舶机舱辅助控制系统的操作与管理	94
任务一 冷却水温度自动控制系统	94
任务二 燃油供油单元自动控制系统	121
任务三 辅锅炉的自动控制	146
任务四 分油机的自动控制	169
任务五 自清洗滤器的自动控制	182
项目四 主机遥控系统的操作与管理	190
任务一 主机遥控系统的认识	190
任务二 气动主机遥控系统的操纵	211
任务三 微机式主机遥控系统(AC-4)的操作与管理	249
任务四 现场总线型主机遥控系统(AC C20)的操作与管理	279
任务五 电喷柴油机控制系统的认识	304
项目五 机舱集中监视与报警系统的认知与操作	317
任务一 机舱集中监视与报警系统的认识	317
任务二 网络型监视与报警系统的操作与维管	328
任务三 曲轴箱油雾浓度检测装置的认知与操作	344
任务四 船舶火灾自动报警系统的维护与管理	364
参考文献	374

项目一 船舶自动控制系统基础理论学习

任务一 自动控制系统的认识

【知识目标】掌握自控系统的基本概念、系统组成和各组成环节的作用,正确画出系统的原理方框图;了解自控系统的分类和特点;掌握负反馈在自控系统中的作用;明确开环控制与闭环控制的区别;明确对控制系统的基本要求。

【能力目标】具备分析系统各环节组成的能力。

【任务实施】

一、基本理论

1. 自动控制系统的组成

所谓自动控制,是指在没有人直接参与的情况下,利用外加的设备或装置,使机器、设备或生产过程的某个工作状态或参数自动地按照预定的规律运行。被控制的机器设备或物体,称为控制对象;所用的控制装置,常称为控制器。

现以如图 1-1-1 所示的定值水位自动控制系统为例,对自动控制和自动控制系统进行介绍。

水位自动控制的目的是维持水箱内水位恒定。当水的流入量与流出量平衡时,水箱水位维持在预定的高度上,该高度由自动控制器刻盘上的指针标定。当水流出量增大或流入量减少(例如水位下降)时,平衡被破坏,水箱水位下降,出现偏差,该偏差由浮子检测。自动控制器在偏差作用下,使阀门开大,增大水的流入量,力图维持水位不变。反之,当水流出量减小或流入端水压升高时,水位上升,反向偏差则使阀门开小些,减少水的流入量,从而达到自动控制水箱水位不变的目的。在本例中,水箱和供水系统就是控制对象。

由以上分析可以看出,要实现系统的自动控制应至少包括以下几个部分:控制对象、执行机构、调节机构和测量单元,图 1-1-2 表示了四者之间的关系。由图可见:系统的输入是作用于系统的激发信号,其中使系统具有预定性能或预定输出的称为控制输入、指令输入或参考输入;干扰或破坏系统具有预定性能或预定输出的称为扰动输入。根据具体情况,扰动输入可有不同的作用点。系统的输出即被控制量,它表征对象或过程的状态和性能。在水位自动控制系统中,控制器刻盘指针标定的希望水位高度为参考输入;水的流出量或流入量变化,它阻碍水箱保持一定水位,就是扰动输入;而水箱实际水位高度即为系统

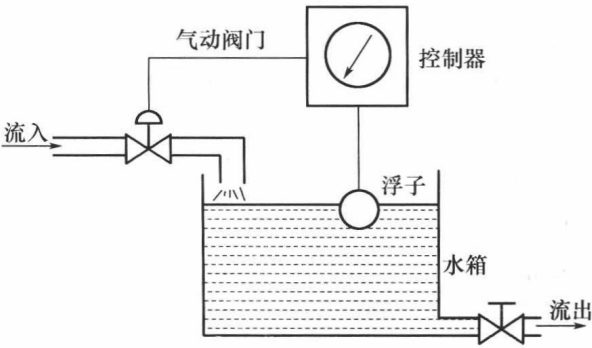


图 1-1-1 水位自动控制

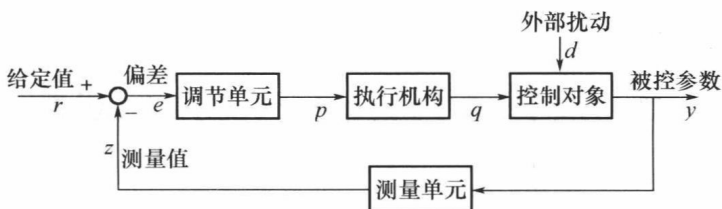


图 1-1-2 控制系统结构框图

的输出。有一定的输入,就有相应的一定的输出,这个系统的输出,常常叫做系统对输入的响应,它为时间的函数。自动控制就是为了一定目的,保证对输入要有满意的响应,即保证系统输出具有控制输入指定的数值;保证系统输出尽量不受扰动的影响。上述水位自动控制系统的任务就是保证水箱水位尽量不受流量影响,保持参考输入规定的输出值不变。

(1) 控制对象

控制对象是控制系统所要控制的机器、设备或装置,其被控量即为控制系统所要控制的工况参数。在柴油机汽缸冷却水温度控制系统中,淡水冷却器是控制对象,冷却水温度是被控量。

(2) 测量单元

测量单元一般由测量元件和变送器组成,其作用是将被控量成比例地转换成统一的标准信号即测量信号送至调节器。统一的标准气压信号为 0.02 ~ 0.1 MPa;统一的标准电流信号是 0 ~ 10 mA 或 4 ~ 20 mA,国际上一般多采用 4 ~ 20 mA。

(3) 调节单元(控制单元)

调节单元是指具有各种调节作用规律的调节器。调节器接收测量单元送来的被控量的测量信号,并与给定值相比较得到偏差信号,再根据偏差信号的大小和方向,依据某种调节作用规律输出控制信号送至执行机构,对被控对象施加调节作用。

给定值 r : 被控量所希望控制的最佳值。被控量的偏差值 e : 被控量的测量值和给定值的差值,即 $e = r - z$ 。

$e > 0$, 称为正偏差;

$e < 0$, 称为负偏差;

$e = 0$, 称为无偏差。

(4) 执行机构

执行机构的输入量是调节单元输出的控制信号;执行机构的输出量通常是调节阀的开度。调节单元输出的控制信号经执行机构直接改变调节阀的开度,从而可改变流入控制对象的物质或能量流量,使之能符合控制对象负荷的要求,进而使被控量保持在给定值或给定值附近。实际的执行机构主要有气动薄膜调节阀、三相伺服电机等,执行机构通常为比例环节。

2. 自动控制系统的分类

随着自动控制理论和自动控制技术的不断发展,自动控制系统也在日益发展和完善,目前已出现了各种新型的自动控制系统。因此,很难确切地列举它们的全部分类,下面仅介绍几种常用的分类方法。按自动控制系统是否形成闭合回路可以分为:开环控制系统及闭环控制系统;按信号的结构特点分类可以分为:反馈控制系统、前馈控制系统及前馈-反馈复合控制系统;按给定值信号的特点分类可以分为:恒值控制系统、随动控制系统及程序

控制系统。自动控制系统的分类方法还有很多,例如按控制系统信号的形式分类可分为连续控制系统和离散控制系统;按控制系统的输入和输出信号的数量来分,有单输入/单输出系统和多输入/多输出系统;按控制器采用常规的模拟量控制器还是采用计算机控制,则可分为常规控制系统和计算机控制系统;按照不同的控制理论分支设计的新型控制系统,则可分为最优控制系统、自适应控制系统、预测控制系统、模糊控制系统和神经网络控制系统等。这里仅就按给定值信号特点分类作一介绍。

(1) 恒值控制系统

若自动控制系统的任务是保持被控量恒定不变,即被控量在控制过程结束时,被控量等于给定值,又称为定值控制系统。这是生产过程中用得最多的一种控制系统,例如发电机电压控制,电动机转速控制,电力网的频率(周波)控制,各种恒温、恒压、恒液位等控制都属于恒值控制系统。

(2) 随动控制系统

随动控制系统又简称随动系统,它是给定信号随时间的变化规律事先不能确定的控制系统,随动控制系统的任务是在各种情况下快速、准确地使被控量跟踪给定值的变化。船舶舵机控制系统,自动化仪表中的显示记录等均属于随动控制系统。

(3) 程序控制系统

在程序控制系统中,它的给定值按事先预定的规律变化,是一个已知的时间函数,控制的目的是要求被控量按确定的给定值的时间函数来改变,例如机械加工中的数控机床,锅炉时序程序控制系统等均属于程序控制系统的范畴。

3. 自动控制系统的动态过程及其品质指标

(1) 自动控制系统动态过程

当自动控制系统受到各种干扰(扰动)或人为要求给定值(参考输入)改变时,被控量就会发生变化,偏离给定值。通过系统的自动控制作用,经过一定的过渡过程,被控量又恢复到原来的稳态值或稳定到一个新的给定值。这时系统从原来的平衡状态过渡到一个新的平衡状态,我们把被控量在变化中的过渡过程称为动态过程(即随时间而变的过程),而把被控量处于平衡状态时的状态称为静态或稳态。

对自动控制系统最基本的要求是必须稳定,同时要求控制系统被控量的稳态误差(偏差)为零或在允许的范围之内。对于一个好的自动控制系统来说,一般要求稳态误差越小越好,最好稳态误差为零。但在实际生产过程中往往做不到完全使稳态误差为零,只能要求稳态误差越小越好。一般要求稳态误差在被控量额定值的2%~5%之内,当然系统过渡过程时间也应该尽可能短。

在具体介绍自动控制系统基本性能要求之前,先了解一下控制系统动态过程的类型,一般的自动控制系统被控量变化的动态特性有以下几种。

① 单调过程

单调过程是指被控量 $y(t)$ 单调变化(即没有“正”,“负”的变化),缓慢地到达新的平衡状态(新的稳态值),也称非周期振荡过程。如图1-1-3(a)所示,一般这种动态过程具有较长的动态过程时间(即到达新的平衡状态所需的时间)。

② 衰减振荡过程

衰减振荡过程是指被控量 $y(t)$ 的动态过程是一个振荡过程,但是振荡的幅度在不断衰减,到过渡过程结束时,被控量会达到新的稳态值。这种过程的最大幅度称为超调量,如图

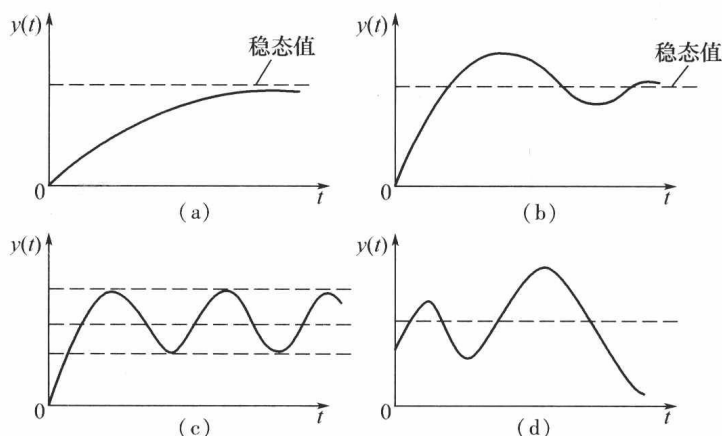


图 1-1-3 自动控制系统被控量的动态特性

(a) 单调过程; (b) 衰减振荡过程; (c) 等幅振荡过程; (d) 渐扩振荡过程

1-1-3(b)所示。

③等幅振荡过程

等幅振荡过程是指被控量 $y(t)$ 的动态过程是一个持续等幅振荡过程,始终不能达到新的稳态值,如图 1-1-3(c)所示。这种过程如果振荡的幅度较大,生产过程不允许,则认为是一种不稳定的系统,如果振荡的幅度较小,生产过程可以允许,则认为是稳定的系统。

④渐扩振荡过程

渐扩振荡过程是指被控量 $y(t)$ 的动态过程不但是一个振荡的过程,而且振荡的幅度越来越大,以致会大大超过被控量允许的误差范围,也称发散振荡,如图 1-1-3(d)所示,这是一种典型的不稳定过程,设计自动控制系统要绝对避免产生这种情况。

(2) 自动控制系统的品质指标

一般说来,自动控制系统如果设计合理,其动态过程多属于图 1-1-3(b)的情况。为了满足生产过程的要求,我们希望控制系统的动态过程不仅是稳定的,并且希望过渡过程时间(又称调整时间)越短越好,振荡幅度越小越好,衰减得越快越好。通常对于一个自动控制系统的性能要求可以概括为三个方面:稳定性、快速性和准确性。

①稳定性

一个自动控制系统的最基本的要求是系统必须是稳定的,不稳定的控制系统是不能工作的。当给定值不变时,稳定程度可以用“衰减率”来表示,所谓“衰减率”就是指每经过一个周期以后,波动幅度衰减的百分数,以 Ψ 表示,计算公式是

$$\Psi = (A - B)/A \quad (1-1)$$

式中, A 是指扰动出现后,被调量偏离给定值的最大值,即衰减曲线上所出现的第一个波的峰值; B 是指与第一个波峰同相的第二个波的峰值,如图 1-1-4 所示。

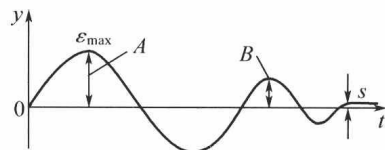


图 1-1-4 给定值不变控制系统动态过程示意图

$$\Psi = 1$$

单调振荡(非周期振荡)

$$0 < \Psi < 1$$

衰减振荡

$$\Psi = 0$$

等幅振荡

$$\Psi < 0$$

渐扩振荡(发散振荡)

事实上, Ψ 越大, 稳定性越好。若 $\Psi = 1$, 则稳定性最好, 但动态偏差较大、调节时间偏长。实际的调节过程一般希望 Ψ 在 0.75 ~ 0.9 范围内。当 $\Psi = 0.75$ 时, A 是 B 的 4 倍, 称衰减比为 4:1。

当给定值发生改变时, 如图 1-1-5 所示, 稳定程度可以用“超调量”来表示。超调量 σ_p 是指在衰减振荡过程中, 第一个波峰值 $y_{\max}$ 减去新稳态值 $y(\infty)$ 与新稳态值之比的百分数, 即

$$\sigma_p = \frac{y_{\max} - y(\infty)}{y(\infty)} \times 100\%$$

超调量越小, 控制系统动态过程波动越小, 稳定性越好。但不可太小, 如 $\sigma_p = 0$ 时, 则系统处于单调振荡(非周期振荡)过程, 系统过渡过程时间较长; 但也不能太大, 使动态过程振荡加剧。一般要求 $\sigma_p < 20\%$ 。

②准确性

准确性指调节过程中被调参数偏差的大小, 它可由静偏差和最大动偏差衡量。

静偏差是指在扰动和调节的共同作用下, 调节过程结束后, 被调参数的稳定值与给定值之间偏差的大小, 如图 1-1-4 所示。静偏差 ε 也称残余偏差。显然, 静态偏差越小, 系统的静态精度越高。

最大动态偏差 $y_{\max}$ 是指在调节过程中被调参数偏离给定值的最大幅度, 如图 1-1-5 所示。调节系统应保证被调量的动态偏差即使在可能出现的最大扰动作用下, 也不应超过工作过程所允许的变动范围, 否则有可能破坏设备或阻碍生产工艺正常进行。

③快速性

快速性可用过渡过程时间 t_s 、振荡周期(频率) $T(f)$ 、振荡次数 N 来表示。在系统稳定的前提下, 希望控制过程(过渡过程)进行得越快越好, 但是有矛盾, 如果要求过渡过程时间很短, 可能使动态误差(偏差)过大。合理的系统应该兼顾这两方面的要求。

以上三个指标常常相互矛盾。当提高稳定性时, 会使动态偏差增大, 调节时间将加长。所以, 应根据被调对象的不同要求来选定调节过程形式。

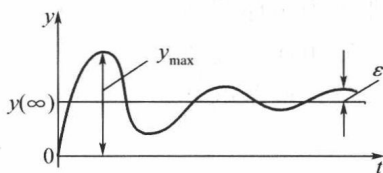


图 1-1-5 改变给定值控制系统动态过程示意图

二、相关知识

1. 开环控制系统

开环控制是一种最简单的控制方式, 其特点是在控制器与被控对象之间只有正向控制作用而没有反馈控制作用, 即系统的输出量对控制量没有影响。开环控制系统的示意框图如图 1-1-6 所示, 即系统中控制信号的流动未形成闭合回路。

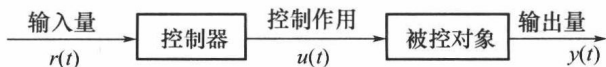


图 1-1-6 开环控制系统方框图

开环控制系统易受各种干扰的影响, 其控制精度较低, 但结构简单、成本低, 也容易实现, 所以可用于对控制要求不高的小型机器设备, 而对控制要求较高的大型装置和设备, 则

需要采用闭环控制系统。

2. 闭环控制系统

闭环控制的特点是在控制器与被控对象之间,不仅存在着正向作用,而且存在着反馈作用,即系统的输出量对控制量有直接影响。闭环控制系统的示意框图如图 1-1-7 所示。

图 1-1-7 中 $\otimes$ 为比较元件(又称比较器),在比较元件中,参考输入信号(给定值信号)与反馈信号进行比较,其差值输出即为偏差信号,偏差信号是控制器的输入。由此可见系统中控制信号的流动形成了闭合回路,故称闭环控制系统。

将检测出来的输出量送回到系统的输入端,并与输入量比较的过程称为反馈。若反馈信号与输入信号相减,则称为负反馈;反之,若相加,则称为正反馈。输入信号与反馈信号之差,称为偏差信号。偏差信号作用于控制器上,使系统的输出量趋向于给定的数值。闭环控制的实质,就是利用负反馈的作用来减小系统的误差,因此闭环控制又称为反馈控制。

在实际应用中,按照偏差控制的闭环系统种类繁多,尽管它们完成的控制任务不同,具体结构不一样,但是,从检出偏差、利用偏差信号对控制对象进行控制以减小或纠正输出量的偏差这一控制过程来看却是相同的。归纳起来,这种系统的特点如下。

(1)在开环系统中,只有输入量对输出量产生控制作用;从控制结构上来看,只有从输入端到输出端的信号传递通道(正向通道)。闭环控制系统中除正向通道外,还必须有从输出端到输入端的信号传递通道,使输出信号也参与控制作用,该通道称为反馈通道。闭环控制系统就是由正向通道和反馈通道组成的。

(2)为了检测偏差,必须直接或间接地检测出输出量,并将其变换为与输入量相同的物理量,以便与给定量比较,得出偏差信号,所以闭环系统必须有检测环节、给定环节和比较环节。

(3)闭环控制系统是利用偏差量作为控制信号来纠正偏差的,因此系统中必须具有执行纠正偏差这一任务的执行结构。闭环系统正是靠放大的偏差信号来推动执行结构,进一步对控制对象进行控制。只要输出量与给定量之间存在偏差,就有控制作用存在,力图纠正这一偏差。由于反馈控制系统是利用偏差信号作为控制信号,自动纠正输出量与其期望值之间的误差,因此可以构成精确的控制系统。

如前所述,一个控制系统,如果在其控制器的输入信号中不包含受控对象输出端的被控量的反馈信号,则为开环控制系统。反之,如果在其控制器的输入信号中包含来自受控对象输出端的被控量的反馈信号,则为闭环控制系统或反馈控制系统。闭环控制系统,较开环控制方式可以使被控量有更高的控制品质。因为在闭环控制系统中,当受控对象受到各种扰动影响时,可以通过被控量变化后的反馈作用使控制器动作,进行控制和调节,使被控量恢复到给定值。相反,开环控制系统就做不到这一点。

3. 反馈控制系统

反馈控制系统是根据被控量和给定值的偏差进行调节的,最后使系统消除偏差,达到被控量等于给定值的目的。因为反馈控制系统是将被控量变化的信号反馈到控制器的输入端,形成一个闭合回路,所以反馈控制系统一定是闭环控制系统。它是生产过程控制系统中最基本的一种。一个复杂的控制系统也可能有多个反馈信号(除被控量的反馈信号外,还有其他的反馈信号),组成多个闭合回路,如图 1-1-7 所示,称为多回路反馈控制系统。

在图 1-1-7 中,除了被控量 y 的主反馈信号 b 外,还有由中间环节(可认为是受控对

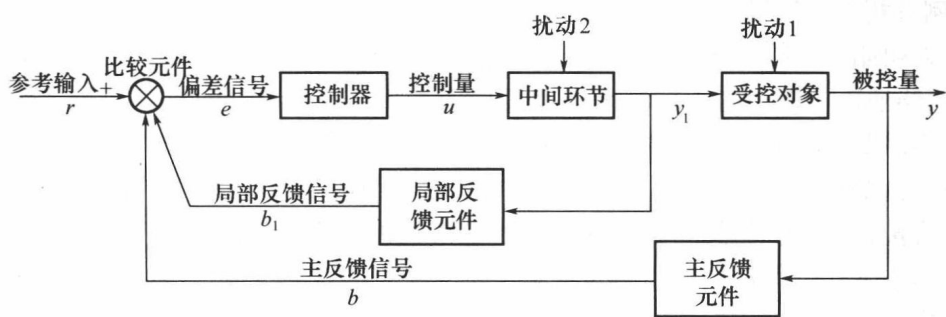


图 1-1-7 多回路反馈控制系统方框图

象的一部分)输出信号 y_1 形成的局部反馈信号 b_1 , b 和 b_1 与参考输入 r 一起在比较元件中进行比较,形成偏差信号 e ,所以实际上控制器的输入端有了三个输入信号,而当受控对象(和中间环节)受到扰动后,中间环节的输出 y_1 的变化往往比被控量 y 的变化要提前,也即局部反馈信号 b_1 比主反馈信号 b 将更早期地作用到控制器,使控制器动作,进行调节。因此,可以改善被控量 y 的控制质量,使被控量 y 的波动减小。此外,系统的输入变量 r 有时也不只一个,可能有 m 个输入变量 $r_1, r_2, \dots, r_m$ 。具有多个输入变量的系统,称为多输入系统;反之,只有一个输入变量的系统,称为单输入系统。

4. 前馈控制系统

前馈控制系统直接根据扰动信号进行调节,扰动量是控制的依据,它没有被控制量的反馈信号,不形成闭合回路,所以它是一种开环控制系统。扰动量 $d(t)$ 将使被控量 $y(t)$ 发生变化,扰动量 $d(t)$ 经测量变送元件测量、变送后送入前馈控制器,前馈控制器根据扰动量 $d(t)$ 的大小发出控制作用 $u(t)$ 到被控对象,及时抵消扰动量 $d(t)$ 对被控对象的影响,从而使被控量 $y(t)$ 保持不变。由于前馈控制是一种开环控制系统,没有被控制量的反馈作用,就不能保持被控量控制的精度(例如当有其他不可测量的扰动影响被控对象时,被控量的变化无法被抵消),所以在实际生产过程自动控制中是不能单独使用的。一般在反馈控制系统中加入前馈控制作用,构成前馈-反馈复合控制系统,达到兼取两者优点的目的。

5. 前馈-反馈复合控制系统

图 1-1-8 是前馈-反馈复合控制系统的方框图。它是在反馈控制系统的基础上增加了对主要扰动 $d(t)$ 的前馈补偿作用。补偿环节可以是一个较简单的环节,对于控制要求较高的被控对象,补偿环节也就是一个控制器,即前馈控制器。当扰动 $d(t)$ 发生后,补偿信号作用到控制器后,能及时消除扰动对被控量的影响,而反馈回路的作用将保证被控量能较精确地等于给定值,改善被控量 $y(t)$ 的控制精度。

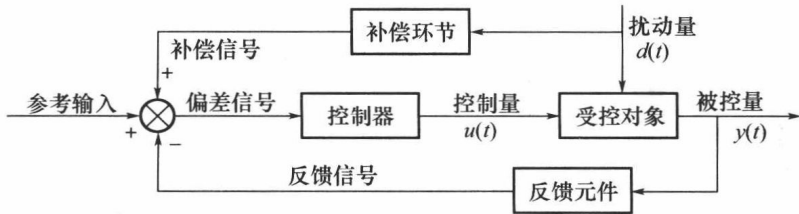


图 1-1-8 前馈-反馈复合控制系统方框图

【案例分析与知识拓展】

这里以船舶主机冷却水控制系统为例,并分析自动控制系统组成。在 20 世纪 50 年代末期,船舶柴油机冷却水温度控制采用直接作用方式。这是一种早期的反馈式控制方式,其特点是不需要外加能源,而是根据在冷却水管路中的测量元件内充注的工作介质的压力随温度成比例变化而产生的力来驱动三通调节阀,进而改变流经淡水冷却器的淡水流量和旁通淡水流量,从而实现温度调节。在 20 世纪 70 年代末期,船舶柴油机冷却水温度控制采用气动式作用方式。其特点是利用感温元件和温度变送器,把汽缸冷却水温度的变化成比例地转变成气压信号的变化送至调节器,与调节器的给定信号相比较,其偏差信号经调节作用规律运算后,成为调节器输出的控制气压信号去调节温度。在 20 世纪 80 年代中期,船舶柴油机冷却水温度控制采用电动式作用方式。这也是目前远洋船舶上主要采用的温度控制方式。它的作用方法是,利用安装在船舶柴油机汽缸冷却水进口或者出口管路中的感温元件,通常为电阻数值与温度变化在一定范围内成线性变化的热敏电阻,经分压器分压把冷却水温度成比例地转换为电压信号,这个测量信号与由电位器整定的给定值电压信号相比较得到偏差信号,再经过比例微分作用,输出一个控制信号,并将此控制信号送至脉冲宽度调制器,将连续的控制信号变成断续的脉冲信号去调节冷却水温度。无论使用哪类控制系统,我们都可以看出这些控制都必须满足控制系统的组成四大件,即控制对象(淡水冷却器)、调节机构(调节器)、执行机构(调节阀)和测量单元(温度传感器),如图 1-1-9 所示。这些自动控制设备代替了人工调节环境,具体而言就是测量单元代替人的眼睛,调节机构代替人的大脑,执行机构代替人的手,各器件整体联动就完整地模拟了人的控制动作,实现了设备的自动控制。

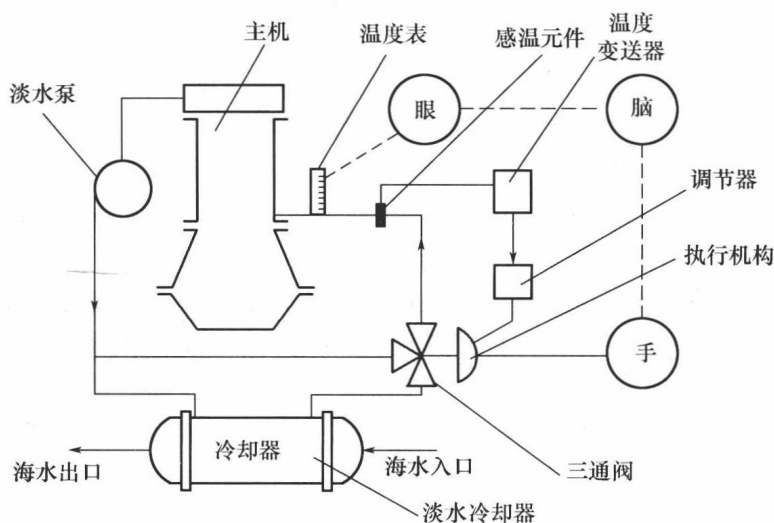


图 1-1-9 主机冷却水控制系统

【课后自测】

1. 单项选择题

- (1) 在定值控制系统中为确保其精度,常采用()。
- A. 开环控制系统 B. 闭环正反馈控制系统
C. 闭环负反馈控制系统 D. 手动控制系统

(2)按偏差控制运行参数的控制系统是()系统。

- A. 正反馈 B. 负反馈 C. 逻辑控制 D. 随动控制

(3)在反馈控制系统中,为了达到消除静态偏差的目的,必须选用()。

- A. 正反馈 B. 负反馈
C. 在偏差大时用正反馈 D. 在偏差值小时用负反馈

(4)反馈控制系统中,为使控制对象正常运行而要加以控制的工况参数是()。

- A. 给定值 B. 被控量 C. 扰动量 D. 反馈量

(5)对定值控制系统来说,其主要扰动是()。

- A. 电源或气源的波动 B. 给定值的变动
C. 控制对象的负荷变化 D. 调节器参数整定不合适

(6)控制系统传递方框图如图 1-1-10 所示,其中若信号线从 A 点断开,则该系统是()。

- A. 正反馈控制系统 B. 遥测系统 C. 遥控系统 D. 负反馈控制系统

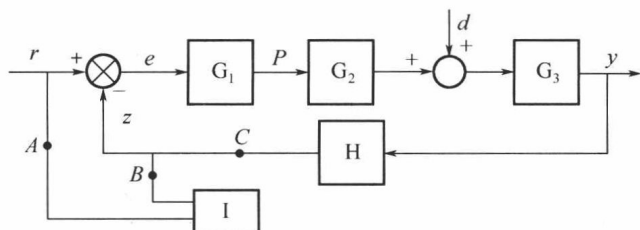


图 1-1-10 控制系统传递方框图

(7)调节器的输入量与输出量分别为()。

- A. 给定值,测量值 B. 给定值,显示值
C. 测量值,调节阀开度 D. 偏差值,调节阀开度

(8)在燃油黏度控制系统中,其控制对象和执行机构分别为()。

- A. 燃油加热器,蒸汽调节阀 B. 柴油机主机,燃油泵
C. 燃油加热器,燃油泵 D. 柴油机主机,蒸汽调节阀

(9)可作为气动或电动控制系统标准信号的有()。

- ① 0.02 ~ 0.1 MPa; ② 0.02 ~ 0.1 Pa; ③ 0 ~ 10 mA;
④ 0.1 ~ 1 A; ⑤ 0.4 ~ 2 mA; ⑥ 4 ~ 20 mA。
A. ①②⑤ B. ①③⑥ C. ②③⑤ D. ②④⑥

(10)在定值控制系统中,随着衰减率的减小,系统的最大动态偏差 $e_{\max}$ 和静态偏差 ε 的变化是()。

- A. $e_{\max} \uparrow, \varepsilon \downarrow$ B. $e_{\max} \uparrow, \varepsilon \uparrow$ C. $e_{\max} \downarrow, \varepsilon \uparrow$ D. $e_{\max} \downarrow, \varepsilon \downarrow$

2. 思考题

(1)什么是自动控制系统? 自动控制系统通常由哪些基本元件组成,各元件起什么作用?

(2)请说明开环控制系统和闭环控制系统的特点各是什么。

(3)请说明自动控制系统的性能要求是什么。

(4)评价反馈控制系统的品质指标有哪些?

(5)简述主机冷却水控制系统的组成。

任务二 控制对象的基本特性

【知识目标】掌握控制对象的动态特性,熟悉并理解放大系数、时间常数、迟延等控制对象的特征参数的表述及其物理意义,为能够正确选择、使用调节器奠定理论基础。

【能力目标】具备计算相关参数(时间常数、放大系数等)的能力,能够合理选择调节器。

【任务实施】

一、基本理论

1. 控制对象的动态特性曲线

这里以水箱液位调节为例,来说明调节对象的动态特性。

如图 1-2-1 所示, F 为水箱的截面积, h 为液面高度,即被测量, Q_1 为流入水箱的流量, Q_2 为流出水箱的流量。

首先建立对象的微分方程。设在 t_0 时刻以前对象处于平衡状态,即初始流量 $Q_{10} = Q_{20}$,水位稳定在 h_0 高度上。在 t_0 时刻,突然改变进口阀的开度(如开大),则流入量 Q_1 就有了变化,因此 Q_1 就不再等于流出量 Q_2 ,液位 h 也随着变化。假如在 dt 这段时间内液位增高了 dh ,那么这段时间内的流入量和流出量之差 $(Q_1 - Q_2)dt$ 应该等于水箱内增加的水量 $F \cdot dh$ 。即

$$(Q_1 - Q_2)dt = F \cdot dh \quad (1-2)$$

为简便起见,设各变量都以各自的起始稳态值为起算点,即令 $Q_{10} = Q_{20} = 0, h_0 = 0$,于是 $\Delta Q_1 = Q_1, \Delta Q_2 = Q_2, \Delta h = h$,由于水箱出水阀开度并未改变,因此随着液位 h 的升高,流出量 Q_2 也会逐渐加大;出水阀关得越小,阻力越大,流出量 Q_2 就越小。当水位变化不大时,就可以近似认为 Q_2 与 h 成正比,与出水阀的阻力 R_s 成反比,即

$$Q_2 = \frac{h}{R_s} \quad (1-3)$$

将式(1-2)代入式(1-3)得 $\left(Q_1 - \frac{h}{R_s}\right)dt = F \cdot dh$

移项整理得

$$FR_s \frac{dh}{dt} + h = R_s Q_1 \quad (1-4)$$

令 $T = FR_s, K = R_s$, 则

$$T \frac{dh}{dt} + h = KQ_1 \quad (1-5)$$

这一阶线性微分方程就是对象在阶跃扰动下的微分方程,用此微分方程就可以描述水箱这样简单的调节对象的特性。

运用高等数学知识对式(1-5)进行求解可得

$$h = KQ_1 (1 - e^{(-t/T)}) \quad (1-6)$$

可见,式(1-6)是一条指数曲线,如图 1-2-2 所示,它反映了被调参数 h 随时间变化的规律,也称飞升曲线。

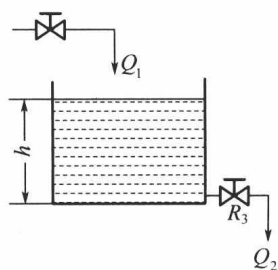


图 1-2-1 水箱液位调节系统示意图