

海 船 船 员 适 任 考 试 培 训 用 书



轮 机 自 动 化

郑凤阁 李 凯 编著
吕登友 主审



大连海事大学出版社

海船船员适任考试培训用书

轮机自动化

郑凤阁 编著
李 凯
吕登友 主审

大连海事大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

轮机自动化/郑凤阁,李凯编著,一大连:大连海事大学出版社,1999.10

海船船员适任考试和评估培训教材

ISBN 7-5632-1315-5

I. 轮… II. ①郑… ②李… III. 船舶-轮机-自动化技术 IV. U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(1999)第 39588 号

大连海事大学出版社出版

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4727996)

大连海事大学印刷厂印刷

大连海事大学出版社发行

1999 年 11 月第 1 版

1999 年 11 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16

印张:21.5

字数:523 千字

印数:0000—5000 册

责任编辑:陈景杰

封面设计:王 艳

责任校对:黎 为

定价:38.20 元

内 容 提 要

本书是根据中华人民共和国港务监督局 1998 年制定的《海船船员适任考试和评估大纲》编写的。书中内容全部覆盖了“大纲”中对 3 000 kW 及以上船舶轮机长/大管轮及 750~3 000 kW 船舶轮机长/大管轮“轮机自动化”考试所要求的内容。其深度和广度也与“大纲”的要求相适应。在编写过程中,根据海船对自动控制与监视系统应用的实际,结合国内外所采用的先进技术,介绍了轮机自动化的基础知识和应用。本着精简实用和突出轮机管理专业特点的原则,侧重阐述轮机自动化中具有普遍性和规律性的内容。

本书共分七章,包括轮机自动化基础知识;微型计算机的基本知识;船用自动化仪表;机舱自动控制系统;柴油机主机遥控系统;集中监视和报警系统及电站自动化等内容。

本书为高级船员适任证书考试培训用的“轮机自动化”教材,可作为大专院校及中等专业学校轮机自动化教学参考书,也可供远洋和沿海运输机务部门、修造船厂等技术人员参考。

序

在世纪之交,中国航海学会船舶机电专业委员会,又一次不失时机地极积倡导、精心组织轮机界的学者和专家推出这套《海船船员适任考试培训用书》,将它奉献给 21 世纪以及日夜奋战在海洋运输战线上的广大船员,这是一件令人称道的大好事。

《海船船员适任考试培训用书》符合经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班标准国际公约》(STCW78/95 公约),满足中华人民共和国海事局于 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》(简称“新大纲”)的要求,由具有丰富教学经验和实践经验的教授、专家所撰写。应该说,这套系列丛书已是第三版了,它的前两版《高级船员适任证书考试用轮机培训教材》,分别在 1989 年和 1993 年出版,先后在数十次的轮机员培训中使用,深受广大船员及考试、发证单位的欢迎和赞许,许多分册一经问世即被购置一空,以致多次重印。几年中,各分册先后印刷 1.3 万册至 2.6 万多册,平均每分册印刷 2 万余册,全书总印量约 18 万册之巨。

作为第三版的《海船船员适任考试培训用书》下百在前两版的基础上,以原作者为主体编写而成。它由 10 个分册组成,分别是:轮机长业务、船舶主推进动力装置(船舶柴油机)、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理、轮机工程基础、轮机英语和机工业务。与前两版比较,在丛书的组成上做了这些变更:将原先的《轮机管理》一书分成两册,即《轮机长业务》和《船舶管理》,借以增强轮机长所需知识的广度和深度;新增了《轮机维护与修理》和《机工业务》的两本书;删去了《造船大意》一书。

调整改编后的这套培训用书,充分保持了前两版教材的较好的针对性、适用性和系统性,篇幅适中,简明易懂,以及理论与实际密切结合的特点,并根据近年来轮机技术和轮机管理的发展变化,以往教学中发现的问题和不足,对全书的内容进行精选、调整、充实和更新,对文言结构进行推敲和雕琢,做到了有一定的深度而不艰涩,有必要的广度而不琐乱,主次分明,详略得宜。使得这套培训用书,在整体上更好地体现了“新大纲”的要求,在知识体系上更具针对性,在内容上更具适用性和先进性,因而也就更具科学性、实用性和易读性。它无论是对海船轮机人员的考试培训,还是对考试、发证单位的命题,以及对船员的业务学习和提高都是大有裨益的。

在本书出版之际,我作为该书前两版的编委会主任委员,对此额手称庆,相信它一定会象前两版一样,受到广大船员和读者的关心、爱护和支持,并期望成为大家的良师益友。

钱耀鹏

1999 年 8 月

海船船员适任考试培训用书编委会

(按姓氏笔画为序)

主任委员 吕登有

副主任委员 刘德洪 刘福生 孙培廷 林建清
袁林新 殷佩海

委	员	毛道彬	史际昌	刘建军	刘宗德
		许乐平	朱 峰	陆卫东	芦庆丰
		李玉平	李 凯	李忠华	李明昌
		李成玉	吴树雄	吴 恒	杜荣铭
		时培育	陈景杰	金以铨	郑为民
		郑凤阁	徐正兴	钱耀鹏	钱 闵
		郭祖平	顾宣炎	费 千	黄海波
		韩秀廷	谢群威	满一新	詹玉龙
		蔡振雄			

前 言

为适应经 1995 年修正案修正的《1978 年海员培训、发证和值班公约》(STCW 78/95 公约)及中华人民共和国海事局 1998 年颁布的《海船船员适任考试和评估大纲》的实施和要求,中国航海学会船舶机电专业委员会组建了海船船员适任考试培训用书编写委员会,选聘有丰富教学经验和实践经验的教授、专家为各本书的主编。编委会对各本书的编写大纲进行了审定。

这套船员考试培训用书有较强的针对性、适用性、先进性,符合船员考试和评估大纲要求,篇幅适中,取材切题,联系实际,简明扼要,适用于海船轮机人员适任考试培训用,对船员的业务学习也有参考价值。

这套系列丛书共分十册:轮机长业务、船舶主推进动力装置(船舶柴油机)、轮机工程基础、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、船舶管理、机工业务、轮机英语。

本套系列丛书在编审、出版和征订工作中得到中华人民共和国海事局、各航运企业、大连海事大学出版社等单位的关心和大力支持,特致谢意。

海船船员适任考试培训用书编写委员会

编者附话

“轮机自动化”是从 50 年代初逐渐发展并走向成熟的一门学科。高等水运院校从 60 年代初设置这门课程以来,随着科学技术突飞猛进的发展,“轮机自动化”的内容也得到了迅速地充实与更新。多年来,在教学和生产实践中,我们积累了一定的经验,这是编写本书的基础。

《轮机自动化》是高级船员适任证书考试用的轮机管理专业培训教材之一。1988 年,中华人民共和国港务监督局颁发了《海船轮机长、轮机员考试大纲》,并于 1992 年对该《大纲》进行了重大修改。颁发了新的《海船轮机长、轮机员考试大纲》。为适应高级船员适任证书考试培训的需要,我们先后于 1989 年和 1993 年,分别编写并出版了高级船员适任证书考试用轮机培训教材之一——《轮机自动化》,前后经 22 期培训和考试的试用,取得了良好的效果。

为了使我国船员考试办法和考试内容与 STCW 国际公约接轨,中华人民共和国港务监督局于 1998 年颁布了《海船船员适任考试和评估大纲》(以下简称“新大纲”),对原考试科目和内容做了较大的修改,为适应“新大纲”的要求,我们重新编写了《轮机自动化》这本教材。

编写这本书所依据的基本原则是:①本书覆盖 3 000 kW 及以上船舶和 750~3 000 kW 船舶轮机长/大管轮对“轮机自动化”考试所要求的全部内容,以便于考生的培训和复习;②在“新大纲”所规定内容范围内,本书所介绍的自动控制与监视系统实例尽量与轮机管理专业本科生在校所要学内容一致,这样有利于本科毕业生的适任考试;③本书内容的广度以“新大纲”要求为准,其深度是从管理专业的特点出发,以定性分析为主,尽量不采用比较繁琐的公式推导和计算,做到内容精练,阐述和分析“轮机自动化”方面的基本原理和应用实例时,由浅入深,所使用的语言通俗易懂,便于自学;④尽量体现新的科学技术在自动控制与监视系统中的应用,以应对新型船舶管理的需要。

本书共分七章,由郑凤阁和李凯编著,张均东、李世臣、王冬杰、林业锦等同志参加了编写工作。张均东同志并绘制了书中部分插图,全书插图由高子强工程师描绘。

在教材编写过程中,得到港务监督局、远洋运输公司、轮船公司及兄弟院校有关单位的领导和专家们支持和指导,得到了大连海事大学轮机自动化教研室全体同仁的帮助,在此一并表示感谢。

由于编者水平有限、时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

1999 年 4 月

目 录

第一章 轮机自动化基础知识	(1)
第一节 反馈控制的基本概念.....	(1)
第二节 控制对象的特性.....	(8)
第三节 调节器的作用规律	(14)
第四节 数字逻辑回路的基本知识	(23)
第二章 微型计算机的基本知识	(39)
第一节 数制和码制	(39)
第二节 微型计算机的组成及其基本工作过程	(45)
第三节 Intel8085 微处理器	(60)
第四节 微型计算机的输入/输出接口电路.....	(78)
第三章 船用自动化仪表	(97)
第一节 气动仪表的主要元部件及主要环节	(97)
第二节 气动变送器.....	(106)
第三节 气动显示仪表.....	(110)
第四节 气动调节器.....	(113)
第五节 执行机构及气动仪表的管理要点.....	(120)
第四章 自动控制系统	(123)
第一节 柴油机气缸冷却水温度自动控制.....	(123)
第二节 VAF 型燃油粘度自动控制系统	(136)
第三节 NAKAKITA 型燃油粘度自动控制系统	(145)
第四节 辅锅炉的自动控制系统.....	(154)
第五节 自动排渣分油机的自动控制.....	(170)
第六节 自清洗滤器的自动控制.....	(176)
第五章 柴油机主机遥控系统	(179)
第一节 主机遥控系统常用的气动阀件.....	(180)
第二节 起动逻辑回路.....	(185)
第三节 换向与制动逻辑回路.....	(194)

第四节	转速与负荷的控制和限制回路·····	(198)
第五节	气动主机遥控系统·····	(218)
第六节	无触点电—气结合主机遥控系统·····	(231)
第七节	用微型计算机组成的主机遥控系统·····	(248)
第六章	集中监视与报警系统·····	(270)
第一节	概述·····	(270)
第二节	机舱中常用传感器·····	(274)
第三节	曲柄箱油雾浓度监视报警器·····	(284)
第四节	报警系统·····	(295)
第五节	微型计算机控制的巡回监视装置·····	(299)
第七章	船舶电站自动化基本知识·····	(314)
第一节	发电机组的自动起动·····	(314)
第二节	同步发电机的自动并车·····	(317)
第三节	电压与无功功率的自动调节·····	(323)
第四节	频率与有功功率的自动调节·····	(328)
第五节	船舶电站的综合保护·····	(331)

第一章 轮机自动化基础知识

轮机自动化,是指用各种自动化仪表及控制元件和逻辑元件包括计算机在内所组成的各种控制和监视系统。它能部分地或绝大部分地代替轮机管理人员,对机舱中的运行参数进行自动控制、监视、显示、记录和报警以及对主要机器设备进行自动操作。自动化水平往往是衡量动力装置技术先进程度的重要标志。管好用好轮机自动化设备对提高动力装置运行的可靠性、安全性和经济性,对降低船舶营运成本、改善轮机管理人员的工作条件及提高船舶技术管理水平都具有十分重要意义。

轮机自动化包括:反馈控制系统、远距离操作(遥控)系统、集中监视与报警系统、自动开关与切换系统及安全保护系统。轮机自动化是从 50 年代发展起来的。以后随着科学技术的发展,轮机自动化水平提高得越来越快。60 年代初出现了只需 1 人在集中控制室值班的船舶;60 年代中期,发展到机舱可无人值班,即轮机管理人员可在 8h、12h、24h,甚至 36h 无需到机舱。进入 70 年代,引入计算机对船舶进行控制与管理。当时有 1 台计算机对全船进行集中控制与管理及用多台计算机进行分散控制与管理两种方案。以后随着微型计算机的发展和广泛的应用,到 70 年代末,不仅全船,就是机舱也采用微型计算机进行分散控制与监视。到 80 年代中期,轮机自动化发展到用微型计算机进行分布式控制的阶段。进入 90 年代,随着“驾机合一”船舶的出现,把轮机自动化又提高到一个崭新的水平,大大提高了其智能化的程度。应当指出,随着科学技术突飞猛进的发展,轮机自动化的更新换代是很快的,我们只有不断学习新的知识,更新管理观念,才能管好、用好自动化水平高的船舶。

第一节 反馈控制系统的基本概念

反馈控制系统的作用是,把机舱中各种运行参数如温度、压力、液位、粘度等控制在所希望的最佳值上。尽管这些参数的种类不同,其控制系统的结构形式也不相同,但是组成这些控制系统的基本单元及其工作过程大致是相同的。

一、反馈控制系统的组成

自动控制过程实际上是直接模拟手动操作过程,图 1-1-1 画出了手动控制和自动控制柴油机气缸冷却水温度的示意图。

柴油机在运行过程中需要保持一个最佳的冷却水温度,比如冷却水进口温度为 70°C 。在手动控制时,管理人员要用眼睛观察温度表,并把观察到的冷却水实际温度报告给大脑,大脑对这一水温进行分析(温度的实际值是否偏离了最佳值)、判断(实际水温是高于最佳值还是低于最佳值)和计算(实际水温离开最佳值的数量),然后输出一个控制指令给双手,用双手来改变三通调节阀的开度,从而可改变对气缸冷却水的冷却强度,使冷却水的实际温度逐渐恢复到冷却水温度的最佳值上。在自动控制过程中,由于不需要人来干预控制过程,因此必须采用各种自动化仪表来代替人的感观。比如可用温度传感器和变送器来代替人的眼睛,随时测量冷却水的实际温度并把该值送给调节器。调节器相当人的大脑对冷却水温度进

行分析、判断和计算,然后输出控制信号给执行机构。执行机构相当于人的双手来改变三通调节阀的开度。通过这个实例,我们可以看到,对任何运行参数进行控制所组成的控制系统,必定要由最基本的四个单元组成,这就是:控制对象、测量单元、调节单元、执行机构。

1. 控制对象 控制对象是指所要控制的机器、设备或装置。把所要控制的运行参数叫做被控量。例如,在锅炉水位自动控制系统中,锅炉是控制对象,水位是被控量;在锅炉蒸汽压力控制系统中,锅炉是控制对象,蒸汽压力是被控量;在柴油机气缸冷却水温度自动控制系统中,淡水冷却器是控制对象,冷却水温度是被控量;在燃油粘度自动控制系统中,燃油加热器是控制对象,燃油粘度是被控量;在空气压力的自动控制系统中,空气瓶是控制对象,空气压力是被控量;在柴油机转速的控制系统中,柴油机是控制对象,转速是被控量,等等。

2. 测量单元 测量单元的作用是,检测被控量的实际值,并把它转换成标准的统一信号,该信号叫被控量的测量值。在气动控制系统中,对应被控量的满量程,其统一的标准气压信号是 $0.02 \sim 0.1 \text{ MPa}$;在电动控制系统中,对应被控量的满量程,其统一的标准电流信号是 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 或 $4 \sim 20 \text{ mA}$,现用 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 居多。在温度自动控制系统中,测量单元常采用温度传感器和温度变送器;在压力自动控制系统中,测量单元常采用压力传感器和压力变送器;在锅炉水位控制系统中,测量单元常采用水位发讯器(参考水位罐)和差压变送器,等等。

3. 调节单元 调节单元是指具有各种调节作用规律的调节器。把运行参数所希望控制的最佳值叫给定值,用 r 表示;被控量的测量值用 z 表示。把被控量的测量值离开给定值的数量叫偏差值,用 e 表示。显然 $e = r - z$ 。

$e > 0$,说明测量值低于给定值,叫正偏差;

$e < 0$,说明测量值大于给定值,叫负偏差;

$e = 0$,说明测量值等于给定值,为无偏差。

调节器首先接收测量单元送来的被控量的测量信号,并与被控量的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(正偏差还是负偏差),依据某种调节作用规律输出一个控制信号。对被控量施加控制作用,直到偏差等于零或接近零为止。在实际应用中,调节单元有位置式调节器、比例调节器、比例积分调节器、比例微分调节器、比例积分微分调节器五种,根据控制对象的特性不同及对被控量控制精度的要求,其控制系统可选用不同调节作用规律的调节器。

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物质或能量流量,使之能符合控制对象负荷的要求,被控量会逐渐回到给定值或给

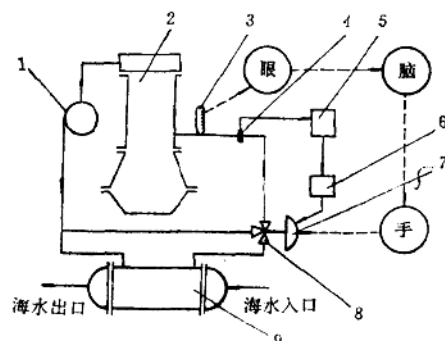


图 1-1-1 柴油机气缸冷却水温度控制过程示意图

- 1-淡水泵;2-柴油机;3-温度表;
- 4-感温元件;5-温度变送器;6-调节器;
- 7-执行机构;8-三通调节阀;9-淡水冷却泵

定值附近,系统将会达到一个新的平衡。在气动控制系统中,执行机构一般是气动薄膜调节阀或气动活塞式调节阀;在电动控制系统中,一般采用可逆转伺服电机或三相交流伺服电机。

以上四个单元在组成反馈控制系统中是缺一不可的。但对一个完整的控制系统,一般都设有显示单元,用来指示被控量的给定值和测量值。同时,对气动控制系统来说,应设有气源装置和定值器;对电动控制系统尚需设稳压电源等辅助装置。

二、反馈控制系统传递方框图

为了分析反馈控制系统工作过程方便起见,可把组成反馈控制系统的四个基本单元分别用一个小方框来表示,并用带箭头的信号线来表示各单位之间的信号传递关系。这样就构成了如图 1-1-2 所示的反馈控制系统传递方框图。通过传递方框图,要明确以下几个概念。

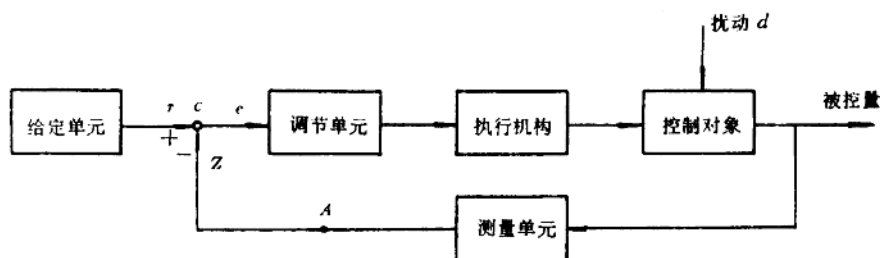


图 1-1-2 反馈控制系统传递方框图

1. 环节 在传递方框图中,代表实际单元的每个小方框称为一个环节。作为一个环节必须满足两个条件:其一是,必定有输入量和输出量,并用带箭头的信号线来表示。其中箭头指向该环节的信号线为输入量,箭头离开该环节的信号线为输出量,在信号线上可标明输入和输出量的名称,也可以不写。其二是,任何环节输出量的变化均取决于输入量的变化及该环节的特性;而输出量的变化不会直接影响输入量,这就是信号传递的单向性。

2. 扰动 要把控制对象看作一个环节,它的输出量是被控量。引起被控量变化的一切因素统称为扰动或扰动量。显然,扰动量是控制对象的输入量。扰动量可分为两类,一类是轮机人员无法控制的扰动,称为外部扰动。例如,以锅炉为控制对象的水位控制系统,水位是被控量,锅炉负荷(外部用汽量)的变化会引起水位的变化,是扰动量;在柴油机气缸冷却水温度控制系统中,水温是被控量。柴油机负荷的变化,海水温度的变化,淡水冷却器中水管结水垢的多少等都会引起冷却水温度的变化,这些都是扰动量。这些扰动都是管理人员无法控制的,是属于外部扰动。另一类是轮机人员可以控制的扰动,称为基本扰动。例如,在水位控制系统中,给水调节阀开度的改变(会引起水位的变化,是输入量),在冷却水温度控制系统中,改变三通调节阀的开度(会引起水温的变化,是输入量),这些扰动是管理人员可以控制的,属于基本扰动。在图 1-1-2 中,有两个信号线的箭头指向控制对象,它们分别是基本扰动(执行机构的输出,即调节阀的开度)和外部扰动(用 d 表示的信号线,即控制对象负荷的变化)。

从控制对象这一环节可以看出,输入信号(包括基本扰动和外部扰动)的改变,会引起输出量(水位、水温等)的改变,而输出量的变化,不会直接影响调节阀的开度和控制对象负荷的改变,这就是信号传递的单向性。

对于基本扰动来说,改变调节阀的开度,会改变流入控制对象物质或能量流量,所谓物

质流量是指,调节阀开度改变后,流入控制对象的物质(水、空气等)流量直接影响被控量的变。例如,水位控制系统,流经给水阀水流量的改变,会影响水位的高低。所谓能量流量是指,调节阀开度改变后,被控量的变化不是取决于物质流量的改变,而是与其中所含能量的多少有关。例如,在燃油粘度控制系统中,燃油粘度的改变不是取决于流经蒸汽调节阀的蒸汽流量,而是蒸汽中所包含的热量。

3. 闭环系统 在反馈控制系统传递方框图中,前一环节的输岀就是后一环节的输入。这样,控制系统就形成一个封闭控制回路,称为闭环系统,反馈控制系统必定是闭环系统。如果在某处把回路断开,比如在图 1-1-2 中的 A 处断开,这时系统就由闭环系统变为开环系统。开环系统不再是反馈控制系统,也就不能对被控量进行自动控制。

运行参数自动控制系统,必定是闭环系统。而逻辑控制系统,如主机遥控系统的起动、换向、制动等回路,均为开环系统。

4. 反馈 在控制系统传递方框图中,符号“○”是比较环节(它不是一个独立环节,而是调节器中的一个组成部分,为清楚起见,单独画出)。它随时对被控量的给定值 r (旁标“+”号)与被控量的测量值 z (旁标“-”号)相比较,得到偏差值 e 。 e 就是调节器的输入量,调节器的输出量经执行机构改变调节阀的开度,即改变流入控制对象的物质或能量流量,目的是控制被控量。而被控量的变化经测量单元又反送到调节器的输入端,这个过程叫反馈。只有反馈才能随时对被控量的给定值和测量值进行比较,只要存在偏差,调节器就会指挥调节阀改变开度,直到测量值回到给定值使偏差 $e = 0$ 为止。这时调节器输出不再改变,调节阀的开度正好适应负荷的要求,控制系统达到一个新的平衡状态。可见对运行参数的自动控制必须要有反馈过程,这就是把运行参数的自动控制系统称为反馈控制系统的原因。

在反馈中,有正反馈和负反馈之分。正反馈是指经反馈能加强闭环系统输入效应,即使偏差 e 增大。负反馈是指经反馈能减弱闭环系统输入效应,即使偏差 e 减小。显然,按偏差控制运行参数的控制系统,必定是负反馈控制系统。但是,在自动化仪表中,特别是在调节器中,为实现某种作用规律和功能,常采用复杂的正、负反馈回路。

现在,可用前面介绍的名词和概念,来描述反馈控制系统的工作过程:

系统在初始平衡(受到扰动前,系统稳定运行)状态时,突然受到一个扰动(控制对象受到的扰动,也可以看做是系统受到的扰动),被控量将离开初始稳定值发生变化,测量单元将把被控量的实际值检测下来,并转变成统一的标准信号送至调节器的输入端,调节器随时对被控量的给定值与测量值进行比较,得到偏差值 e ,并作为调节器的输入量,调节器依据某种调节作用规律输出一个控制信号,从而改变调节阀的开度,也就是改变流入控制对象的物质或能量流量,从而可以克服扰动,逐渐消除偏差,最终使被控量又回到给定值或给定值附近,系统达到一个新的平衡状态。

三、反馈控制系统的分类

反馈控制系统按其用途、形式和特点有多种分类方法,通常有以下几种分类:

1. 按所用能源分类

反馈控制系统分为气动控制系统和电动控制系统。在气动控制系统中,用压缩空气作为能源,气源压力是 0.14 MPa,各种气动仪表输入和输出信号为标准的气压信号 0.02~0.1 MPa。在电动控制系统中,用电能作为能源,各种电动仪表的输入和输出信号是标准的电流信号 0~10 mA 或 4~20 mA。

2. 按仪表的结构形式分类

按仪表结构形式可分为单元组合仪表和基地式仪表。若组成控制系统的各个单位都分别制成一台独立的仪表,各仪表之间用标准的统一信号联系起来,叫单元组合仪表。若把测量单元、调节单元和显示单元组装成一台仪表。在这台仪表中,虽然仍有测量、显示和调节等功能,但在结构上,它们已是不可分割的整体,因而它们之间也不用标准信号加以联系,这种仪表叫基地式仪表。

3. 按给定值的变化规律分类

按给定值变化规律控制系统可分为定值控制系统、程序控制系统和随动控制系统。在定值控制系统中,给定值是不变的。当系统受到扰动后,被控量的测量值会离开给定值出现偏差,控制系统的作用是逐渐消除偏差,使被控量最终回到原来的给定值上或给定值附近。机舱中大多数运行参数的自动控制系统均属于定值控制系统。一般在调节器上都有一个给定值调整旋钮,可以对给定值进行人工整定。当旋钮的位置固定以后,控制系统的给定值就不再改变。例如,在燃油粘度控制系统中,若把给定值设定在 80s(最佳喷射粘度)上,控制系统的任务就是在系统受到扰动后,最终要把燃油粘度控制在 80s 上。

在程序控制和随动控制系统中,给定值是变化的。控制系统的作用是,使被控量始终跟踪给定值,随给定值而变化。两者的区别在于,程序控制系统给定值的变化是按人们事先安排好的规律进行变化,一般给定值是一个时间的函数,如柴油机在高负荷区加速的转速控制。随动控制系统给定值是某个参数的函数,这个参数的变化是任意的,不可能按事先安排好的规律来描述。如在自动舵中,控制船舶航向的改变就属于随动控制系统。这里需注意的是,在自动舵中,既有随动控制又有定值控制,船舶的航向是可以任意改变的,设定一个航向就是改变航向的给定值,这是随动控制系统;当设定航向不变时,即给定值不变,这是定值控制系统。

四、反馈控制系统的动态过程

1. 动态过程特点

一个控制系统在运行过程中,若输出量(被控量)不随时间变化而是稳定在给定值上或给定值附近,系统的这种状态叫稳态。稳态是暂时的、相对的,因为系统经常会受到扰动,系统的平衡状态(稳态)就会遭到破坏。系统受到扰动后,由于控制对象有惯性,被控量不能突变。因此在受到扰动的短时间内,偏差不大,这样调节器输出的控制信号及经调节阀流入控制对象的物质或能量流量的改变量都不大,它不足以克服扰动,使偏差越来越大。随着偏差的增大,调节器输出的控制信号及由它所指挥的调节阀开度变化量都增大,克服扰动能力增强。控制系统在实际运行中,调节阀开度的变化量往往会过头,使被控量在向给定值恢复过程中,会出现反向偏差,即被控量会绕给定值产生波动。以后在调节器控制作用下,波动越来越小,最终被控量会稳定在新稳态值(给定值或给定值附近),系统达到一个新的平衡。

系统从受到扰动开始到被控量稳定在新稳态值,系统达到新的平衡状态的过程,也就是被控量随时间的变化规律,称为动态过程,也叫过渡过程。动态过程的特点是一个衰减振荡过程。

2. 评定控制系统动态过程品质的指标

控制系统之所以会出现动态过程,是因为对系统施加了输入(扰动)信号。其扰动形式是

随机的,很难用一个数学表达式来精确地描述它,但可以归纳为四种扰动形式,这就是:阶跃形式、线性形式、脉冲形式、正弦形式。其中阶跃扰动是最严重的扰动,控制系统能把阶跃扰动控制住,对其它扰动形式也就容易控制了。因此,在这里我们只取阶跃的输入形式来研究控制系统的动态过程。所谓阶跃扰动是取扰动的突变形式,即在 $t=0$ 时刻(在施加扰动瞬间),扰动量突变一个值,以后这个值保持不变。如果这个突变值是一个单位,就称为单位阶跃扰动。阶跃扰动是基本符合实际的扰动形式。

为评定控制系统动态过程品质,要在阶跃扰动(输入)下,画出系统输出量(被控量)随时间的变化曲线。为说明问题方便起见,我们总是把控制系统的初始平衡状态定为坐标的零点。

控制系统接受的扰动有两种情况,一种是外部扰动不变,改变给定值。这时在调节器控制作用下,被控量将绕新的给定值振荡,最终稳定在新的给定值或给定值附近。另一种情况是给定值不变,改变外部扰动(定值控制),在调节器控制作用下,被控量将绕原给定值振荡且最终稳定下来。由于调节器控制作用的强弱不同,以及仪表调校不当或参数不匹配,会使控制系统的动态过程出现各种形式。图 1-1-3 和图 1-1-4 分别画出了给定值不变而改变外部扰动和外部扰动不变而改变给定值的动态过程曲线。图中曲线 1 是等幅振荡,曲线 2 是发散振荡。控制系统这两种动态过程,被控量是不能稳定在新稳态值上的,称为不稳定系统。一个控制系统绝对不允许是一个不稳定系统。造成不稳定的动态过程原因,除仪表调校或参数匹配不当之外,主要是调节器控制作用太强。曲线 3 表示控制系统的动态过程最稳定,被控量没有波动地逐渐达到新稳态值。但是,它的动态精度和稳态精度都很低,且被控量达到新稳态值所需时间很长,这是不可取的,造成这种现象的主要原因是调节器控制作用太弱。符合要求的动态过程是衰减振荡,如曲线 4 所示。当然不是所有衰减振荡都符合要求,为保证动态过程有一个良好的品质,可用一些指标来衡量它,在改变外部扰动和改变给定值两种情况下,其评定动态过程品质指标有些相同,有些不同。

对于定值控制系统来说,评定动态过程品质指标包括最大动态偏差 e_{max} 、衰减率 φ 、过渡过程时间 t_s 、振荡次数 N 及静态偏差 ϵ 等(见图 1-1-3 曲线 4)。

最大动态偏差 e_{max} ,是指在衰减振荡中第一个波峰的峰值,它是动态精度指标。 e_{max} 大,说明动态精度低,要求 e_{max} 小些好。但不是越小越好,因为 e_{max} 大小与调节器比例作用强弱有关,比例作用越强, e_{max} 越小。比例作用太强,虽然 e_{max} 很小,但动态过程的振荡会加剧。

衰减率 φ ,是指在衰减振荡中,第一个波峰值 $A = e_{max}$,减去第二个同相波峰值 B 除以第一个波峰值 A ,即:

$$\varphi = \frac{A - B}{A}$$

φ 是衡量系统稳定性的指标,要求 $\varphi = 0.75 \sim 0.9$ 。当 $\varphi = 0.75$ 时, A 是 B 的 4 倍,称为衰减比为 4:1。 φ 不能小于 0.75,否则系统动态过程的振荡倾向增加,降低了系统稳定性,过渡过程时间

也因振荡不息而加长。特别是当 $\varphi = 0$ 时,其动态过程是等幅振荡,系统变成不稳定系统,这

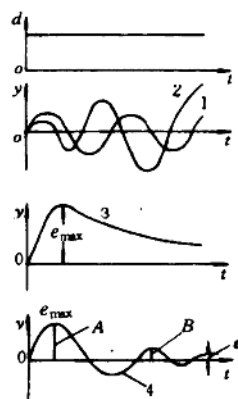


图 1-1-3 改变外部扰动控制系统的动态过程

是不允许的。 φ 也不能太大,否则 e_{max} 会增大,过渡过程时间 t_s 也会拖得很长,当 $\varphi=1$ 时,其动态过程没有振荡,成为非周期过程。这时 e_{max} 很大, t_s 拖得很长,这是不可取的。

过渡过程时间 t_s ,是指从控制系统受到扰动开始到被控量重新稳定下来所需的时间。理论上讲,这个时间是无穷大,这是没有意义的。因此,我们这样来定义过渡过程时间 t_s :当 $t \geq t_s$ 时,满足:

$$\frac{|y(t) - y(\infty)|}{|y(\infty)|} \leq \Delta$$

式中, $y(t)$ 是系统受到扰动后,在时间为 t 时的被控量值; $y(\infty)$ 是被控量的最终稳态值; Δ 是选定的任意小的值,一般取 $\Delta = 0.02$,或 $\Delta = 0.05$ 。上式的物理意义是,当 $t \geq t_s$ 的所有时间内,被控量 $y(t)$ 的波动值 $|y(t) - y(\infty)|$ 均小于或等于最终稳态 $y(\infty)$ 的2%或5%, t_s 就是过渡过程时间。

振荡次数,是指在衰减振荡过程中,被控量的振荡次数。一般要求被控量振荡2~3次就应稳定下来。

静态偏差 ϵ ,是指动态过程结束后,被控量新稳态值与给定值之间的差值。 ϵ 越小说明控制系统的静态精度越高。在实际控制系统中,由于所使用不同作用规律调节器,其存在静态偏差的情况也不相同。有的控制系统受到扰动后,在调节器控制作用下,被控量最终不能稳定在给定值上,只能稳定在给定值附近,存在一个数值较小的静态偏差,这是有差调节。有的控制系统受到扰动后,在调节器的控制作用下,被控量能最终稳定在给定值上, $\epsilon = 0$,这是无差调节。

在外部扰动不变而改变给定值的控制系统中,评定动态过程品质的一些指标,如过渡过程时间 t_s 、振荡次数 N 、静态偏差 ϵ 等与定值控制系统是一样的。只是评定稳定性指标不用衰减率,而是用超调量 σ_p 。同时增加了反映控制系统响应速度的两个指标:上升时间、峰值时间(见图1-1-4曲线4)。

上升时间 t_r ,是指在衰减振荡中,被控量从初始平衡状态第一次达到新稳态值 $y(\infty)$ 所需时间。

峰值时间 t_p ,是指在衰减振荡中,被控量从初始平衡状态达到第一个波峰峰值所需要的时间 t_p 。 t_r 和 t_p 都是反映动态过程进行快慢的指标, t_r 、 t_p 越小,说明系统惯性越小,动态过程进行得越快。

超调量 σ_p ,是指在衰减振荡中,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:

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

超调量是评定控制系统稳定性的指标。超调量越小,控制系统动态过程波动越小,稳定性越好。但若 σ_p 太小,甚至 $\sigma_p = 0$ 时,被控量无波动地逐渐靠近给定值,成为非周期过程,系统稳定性虽然最好,但 t_s 拖得太长,这是不可取的。若 σ_p 太大,控制系统动态过程的振荡明显加剧,使系统稳定性变差。由于振荡不息, t_s 也必定拖得很长。在实际过程中,要求 $\sigma_p < 20\%$ 。

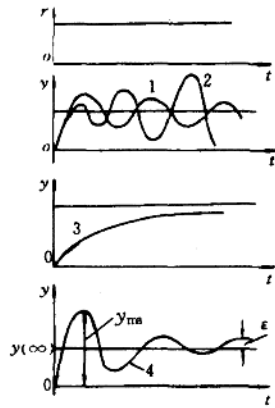


图 1-1-4 改变给定值控制系统的动态过程