



项目引领 任务驱动

示范性高等职业院校课改规划教材



轮机自动控制技术

主编 徐红明 卢冠钟

HEUP 哈尔滨工程大学出版社

轮机自动控制技术

主编 徐红明 卢冠钟
主审 陈逸宁



内 容 简 介

本书是按照高职院校人才培养的特点编写的,适用于高职船舶电气电子、船机制造与维修等专业的《轮机自动控制技术》,是工学结合的特色教材。本教材共有轮机自动控制基础、机舱自动控制技术、主机遥控技术、机舱监测与报警技术、机舱 PLC 与现场总线控制技术等 5 个知识能力模块、22 个具体工作任务。

本书除了供船舶工程技术专业教学之用以外,还可供与造船相关专业人员学习参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

轮机自动控制技术/徐红明,卢冠钟主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2015. 1
ISBN 978 - 7 - 5661 - 0967 - 5

I. ①轮… II. ①徐… ②卢… III. ①轮机 - 自动控制 - 高等职业教育 - 教材 IV. ①U676. 4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 016461 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 哈尔滨市石桥印务有限公司
开 本 787mm × 1 092mm 1/16
印 张 23. 75
字 数 610 千字
版 次 2015 年 1 月第 1 版
印 次 2015 年 1 月第 1 次印刷
定 价 51. 00 元
<http://www.hrbeupress.com>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前 言

随着计算机网络技术和现代控制技术的发展,机电合一、驾机合一等先进技术已经在船舶自动化系统中得到推广,这些新技术的应用在不断提高设备可靠性的同时,也大大减轻了船舶管理人员的工作强度,同时也对船舶技术人员的专业技能、分析问题和解决问题的能力提出了更高的要求。

按照高职院校人才培养的特点,我们与行业企业合作,组织编写了适用于高职船舶电气电子、船机制造与维修等专业的《轮机自动控制技术》工学结合的特色教材。本书结合高职院校教师教学经验和船舶修造企业的需求,把课程学习内容联系船舶实际,以工作任务为载体进行内容编排,促使理论教学和实践教学有机地融合,将学生置于发现问题、提出问题、思考问题、探究问题,解决问题的动态学习过程中,着力于培养学生对现代船舶机舱自动化系统的维护、管理、故障诊断与检修能力,具有非常强的针对性和实用性。

本教材共有轮机自动控制基础、机舱自动控制技术、主机遥控技术、机舱监测与报警技术、机舱 PLC 与现场总线控制技术等 5 个知识能力模块、22 个具体工作任务,其中第一、五模块由浙江交通职业技术学院徐红明副教授编写,第二、四模块由浙江交通职业技术学院卢冠钟老师编写,第三模块由厦门新继船舶服务有限公司林忠轮机长编写,全书由浙江省海运集团浙海海运有限公司陈逸宁轮机长主审。教材的编写和出版,还得到了浙江省造船工程学会、浙江远洋运输股份有限公司等单位的大力支持和浙江省高职高专专业带头人培养项目的基金资助,在此一并表示衷心的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请各位专家和广大读者批评指正。

编 者

2014 年 7 月

目 录

模块一 轮机自动控制基础	1
任务一 反馈控制系统	1
任务二 差压变送器的使用与调整	22
任务三 调节器的使用与调整	33
任务四 认识传感器与执行机构	55
模块二 机舱自动控制技术	71
任务一 柴油机缸套冷却水温度自动控制系统	71
任务二 燃油黏度自动控制系统	85
任务三 辅锅炉自动控制技术	101
任务四 EPC-50 分油机自动控制系统	118
任务五 船舶阀门遥控及液舱遥测技术	134
模块三 船舶主机遥控技术	142
任务一 主机遥控系统基础	142
任务二 主机遥控系统逻辑与控制回路	165
任务三 MC/MCE 型气动主机遥控系统	193
任务四 AUTOCHIEF-IV 微机型主机遥控系统	202
模块四 机舱监测与报警技术	234
任务一 认识机舱监视与报警系统	234
任务二 熟悉单元组合式监视与报警系统	239
任务三 熟悉网络型监视与报警系统	246
任务四 熟悉曲柄箱油雾浓度监视与报警系统	276
模块五 机舱 PLC 与现场总线控制技术	284
任务一 认识可编程序控制器	284
任务二 基于 PLC 的辅锅炉燃烧时序控制系统	305
任务三 认识现场总线控制技术	313
任务四 AC C20 现场总线主机遥控系统	334
任务五 智能电控柴油机控制系统	354
参考文献	372

模块一 轮机自动控制基础

任务一 反馈控制系统

【任务目标】

1. 掌握反馈控制系统的组成及传递方框图；
2. 了解反馈控制系统评价指标；
3. 掌握气动仪表的气动元部件及组成；
4. 了解控制对象的动态特性。

一、反馈控制系统的组成

反馈控制系统对机器设备或生产过程参数的控制过程实际上是直接模拟人的手动操作过程,图 1-1-1 画出了手动操作控制和自动控制下柴油机气缸冷却水温度的示意图。

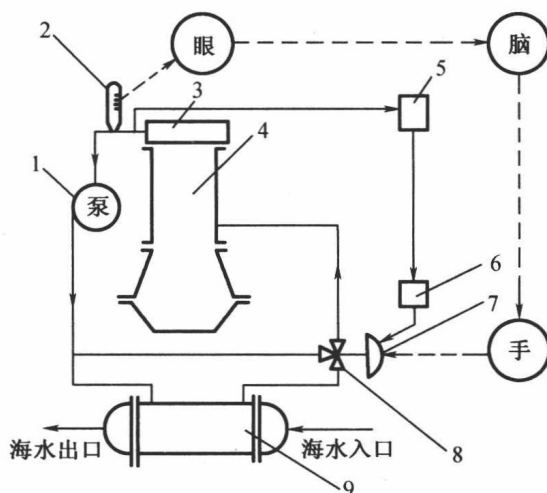


图 1-1-1 柴油机气缸冷却水温度控制过程示意图

1—淡水泵;2—温度计;3—温度传感器;4—柴油机;5—温度变送器;
6—水温调节器;7—执行机构;8—电动三通阀;9—淡水冷却器

柴油机在运行过程中需要保持一个最佳的冷却水温度。假如冷却水出口温度应为 80°C ,则在手动控制时,操作人员要用眼睛观察温度表,并把观察到的冷却水实际温度反应给大脑,大脑对水温进行分析(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,即偏差值),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,即改变旁通水量和经冷却器冷却后的冷水

流量,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。

当冷却水实际温度升高时,通过眼睛从温度表上观察,为了维持希望的温度值,大脑指挥双手关小旁通水量,使实际温度下降,并且在温度表上得到体现;眼睛再把这一调节结果传递给大脑,得到反馈。这个过程一般都要反复进行,直至实际温度恢复到希望的温度值为止。其中,眼睛把调节结果传递给大脑的过程就叫作反馈。显而易见,因为利用了反馈,控制的最终目标才能得以实现。

在自动控制过程中,由于不需要人来干预控制过程,因此必须采用相应的自动化仪表来代替人的功能器官。比如可用温度传感器和变送器替代人的眼睛,随时测量冷却水的实际温度并把该值送给调节器。调节器代替人的大脑,并对冷却水实际温度进行分析和计算,然后输出控制信号给执行机构。执行机构代替人的双手,改变三通调节阀的开度。不论是手动控制,还是自动控制,反馈作用都是存在的。我们把包含反馈作用的控制过程称为反馈控制过程。

其实,对任何其他运行参数进行控制也都具有类似的过程。分析上述实例不难发现,组成一个反馈控制系统,必须有四个最基本的环节,即控制对象、测量单元、调节单元和执行机构,并且缺一不可。

1. 控制对象

控制对象是指所要控制的机器、设备或装置,而所要控制的运行参数则称为被控量。

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,柴油机冷却水出口温度是被控量;

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;

在燃油黏度自动控制系统中,燃油加热器是控制对象,燃油黏度是被控量;

在柴油机转速控制系统中,柴油机是控制对象,转速是被控量。

2. 测量单元

测量单元的作用是,检测被控量的实际值,并把它转换成统一的标准信号,该信号称为被控量的测量值。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 $4 \sim 20 \text{ mA}$,现在使用 $4 \sim 20 \text{ mA}$ 信号居多。

测量单元一般包含两部分,即传感器和变送器,传感器用于对物理量进行检测,变送器则将传感器的输出转换为调节器能够接收的信号。例如,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信器(参考水位罐)和差压变送器。

3. 调节单元

调节单元是指具有某种调节作用规律的调节器,调节器接收测量单元传送来的被控量测量值,并与被控量的期望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),按照某种调节作用规律输出一个控制信号,送给执行机构,对被控量施加控制作用,直到偏差等于零或接近零为止。

在反馈控制系统中,一般把被控量的期望值称为设定值,设定值与被控量的测量值之

间的差值称为偏差值。若将设定值表示为 r , 被控量的测量值表示为 z , 偏差表示为 e , 则有:

$$e = r - z$$

若 $e > 0$, 则说明测量值低于设定值, 称为正偏差;

若 $e < 0$, 则说明测量值高于设定值, 称为负偏差;

若 $e = 0$, 则说明测量值等于设定值, 称为无偏差。

在实际应用中, 调节器一般有位式调节器、比例调节器 P、比例积分调节器 PI、比例微分调节器 PD 和比例积分微分调节器 PID 五种, 根据控制对象特性的不同及控制精度的要求, 可选用不同调节作用规律的调节器。

4. 执行机构

执行机构接收调节单元输出的控制信号, 并将该信号转换为作用到控制对象的实际控制作用。调节单元输出的控制信号一般都要经过执行机构才能作用到控制对象上, 从而改变流入控制对象的物质或能量, 使之能适应控制对象的负荷变化。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, 一般采用伺服电机。

以上四个单元是组成反馈控制系统必不可少的基本单元。对于一个完整的控制系统, 一般根据需要还会有其他的辅助单元, 例如用来指示被控量设定值和测量值的指示单元和设定给定值 r 的给定单元, 气源装置或稳压电源等辅助装置。

二、反馈控制系统传递方框图

为了清楚表明各单元在控制系统中的地位和作用, 以及各单元之间的信号传递关系, 每个单元都用一个方框来表示, 各方框之间用带箭头的信号线连接起来, 就构成了反馈控制系统传递方框图。它适用于各种运行参数的自动控制系统, 具有普遍性。

1. 方框图组成

方框——每一个方框表示系统中的一个组成部分(也称为环节), 方框内填入表示自身特性的数学表达式或文字说明。

信号线——信号线是带有箭头的直线段, 用来表示环节间的相互关系和信号的流向; 作用于方框上的信号为该环节的输入信号, 由方框送出的信号称为该环节的输出信号, 见图 1-1-2(a)。

比较点——比较点表示对两个或两个以上信号进行加减运算, “+”号表示相加, “-”号表示相减, 见图 1-1-2(b)。

引出点——表示信号引出, 从同一位置引出的信号在数值和性质方面完全相同, 见图 1-1-2(c)。

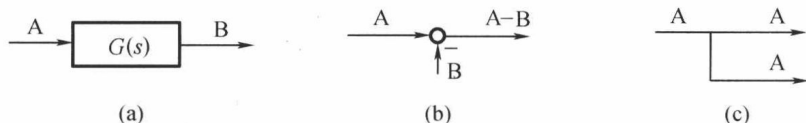


图 1-1-2 方框图的组成单元示意图

(a) 带有输入输出信号的方框; (b) 比较点; (c) 引出点

系统中的每一个环节用一个方框来表示,四个方框分别表示:被控对象、测量单元、调节单元和执行机构。每个方框都分别标出各自的输入、输出变量。如被控对象(淡水冷却器)这个环节,冷热水流量变化会引起水温的变化,因此三通调节阀开度(操纵变量)作为输入信号作用于被控对象,而水温(被控量)则作为被控对象的输出信号;引起被控量(水温)偏离设定值的因素还包括柴油机负荷的变化和海水温度的变化等扰动量,它们也作为输入信号作用于被控对象。反馈控制系统传递方框图见图 1-1-3。

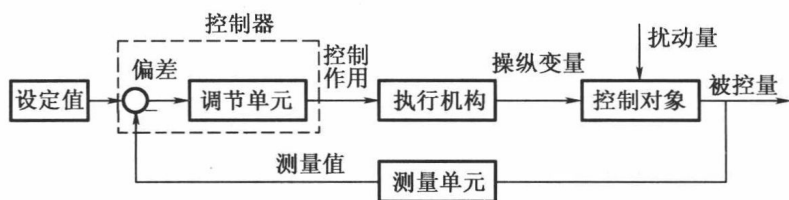


图 1-1-3 反馈控制系统传递方框图

2. 传递方框图的几个概念

(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。每个环节必定有输入量和输出量,并用带箭头的信号线表示。环节输出量的变化取决于输入量的变化和环节特性,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,它的输出量就是被控量。引起被控量变化的一切因素统称为扰动或扰动量。扰动量的分类:一类是外界环境或负荷的变化,这是管理人员无法控制的,称为外部扰动;另一类是改变给水阀的开度,即改变给定值,这种扰动是管理人员可以控制的,称为基本扰动。

(3) 闭环系统

在控制系统传递方框图中,前一环节的输出就是后一环节的输入。这样,控制系统就形成一个闭合回路,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,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。

(4) 反馈

在传递方框图中,符号“○”是比较环节(它不是一个独立的单元,而是调节器中的一个组成部分,为清楚表述而单独画出)。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 是调节器的输入量,调节器的输出量经执行机构推动调节阀,目的是控制被控量。而被控量的变化又经测量单元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,也就是改变流入控制对象的物质或能量流量,直到测量值回到给定值偏差 $e=0$ 为止,这时调节器的输出不再变化,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:经反馈能加强闭环系统输入效应的(使偏差 e 增大)称为正反馈;负反馈:经反馈会减弱闭环系统输入效应的(使偏差 e 减小)称为负反馈。

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,为实现某种作用规律和功能,常采用较复杂的正、负反馈回路。

三、控制系统的主要类型

按控制系统基本结构形式分——闭环控制系统和开环控制系统。

按系统功能分——温度控制系统、压力控制系统、位置控制系统、流量控制系统等。

按系统性能分——线性系统和非线性系统、连续系统和离散系统、定常系统和时变系统。

按被控变量的数量分——单变量控制系统和多变量控制系统。

按采用的控制装置分——常规仪表控制系统和计算机控制系统。

1. 闭环控制系统

闭环控制系统是指控制器与被控对象之间既有顺向控制又有反向联系的控制系统。

闭环控制系统优点:不管任何扰动引起被控变量偏离设定值,都会产生控制作用去克服被控变量与设定值的偏差。因此闭环控制系统有较高的控制精度和较好的适应能力,其应用范围非常广泛。

缺点:闭环控制系统的控制作用只有在偏差出现后才产生,当系统的惯性滞后和纯滞后较大时,控制作用对扰动的克服不及时,从而使其控制质量大大降低。在闭环控制系统中,根据设定值的不同形式,又可分为定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

(1) 定值控制系统

系统的给定值是某一确定值,希望系统的被控量也保持定值。船舶主辅机热工参数的自动控制系统大多属于这一类系统。

特点:设定值是固定不变的。

作用:保证在扰动作用下使被控变量始终保持在设定值上。

(2) 程序控制系统

系统的给定值按某一预先确定的规律变化的系统。例如在船舶主机自动遥控系统的调速系统中,柴油机增减负荷的控制过程是按预先规定的变化规律来改变转速的给定值,以防止柴油机气缸中出现不应有的热应力变化,这便是程序控制系统。

特点:设定值是一个按一定时间程序变化的时间函数。

作用:保证在各种条件下系统的输出(被控变量)以一定的精度跟随设定值的变化而变化。

(3) 随动系统

系统的给定值预先不能确定,它取决于系统外的某一进程。如随动操舵系统,其舵角给定值完全取决于当时的航行情况,其他如参数的自动测量与自动记录系统也属于随动系统。

特点:设定值是一个未知的变化量。

作用:保证在各种条件下系统的输出(被控变量)以一定的精度跟随设定值的变化而变化。

2. 开环控制系统

开环控制系统是控制器与被控对象之间只有顺向控制而没有反向联系的控制系统。

操纵变量可以通过控制对象去影响被控变量,但被控变量不会通过控制装置去影响操纵变量。从信号传递关系上看,未构成闭合回路。

四、评价反馈控制系统的品质指标

根据前面介绍的概念,反馈控制系统的动态工作过程可以描述如下:

假设系统处在平衡状态(即系统稳定运行)时突然受到一个外部扰动,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送到调节器,在调节器内部,被控量的给定值与测量值进行比较,得到偏差值 e ,调节器依据某种调节作用规律输出一个控制信号,通过执行机构改变流入控制对象的物质或能量的流量,被控量朝着偏差减少的方向变化,这一信号又通过测量单元送至调节器,重复上述过程,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。改变给定值后,系统的工作与上述过程类似。

为评定控制系统动态过程品质,通常给系统施加一个阶跃输入,然后研究系统的输出量(被控量)随时间的变化曲线,即系统的动态过程。根据控制系统接受的扰动途径,可以分为两种情况:一种是外部扰动不变,改变给定值(如随动控制系统);另一种是给定值不变(定值控制系统),改变外部扰动。由于控制器规律或系统参数的不同,控制系统的动态过程将出现不同的反应。

图1-1-4所示为控制系统在受到外部阶跃扰动后可能出现的四种不同情况。图1-1-4(a)所示为振幅不断增加的发散过程,(b)为振幅相同的等幅振荡过程。显然这两种情况都是不稳定的过程,作为一个实际的控制系统,这是不能够接受的。(c)是一个振幅不断减少的衰减振荡过程,(d)则是一个非周期过程。虽然这两种情况均属于稳定过程,但非周期过程往往会出现较大的偏差,或者整个调节过程所经历的时间过长,实际中也是不可取的。因此,一个实际可用的控制系统,最起码要求是属于振荡衰减过程。

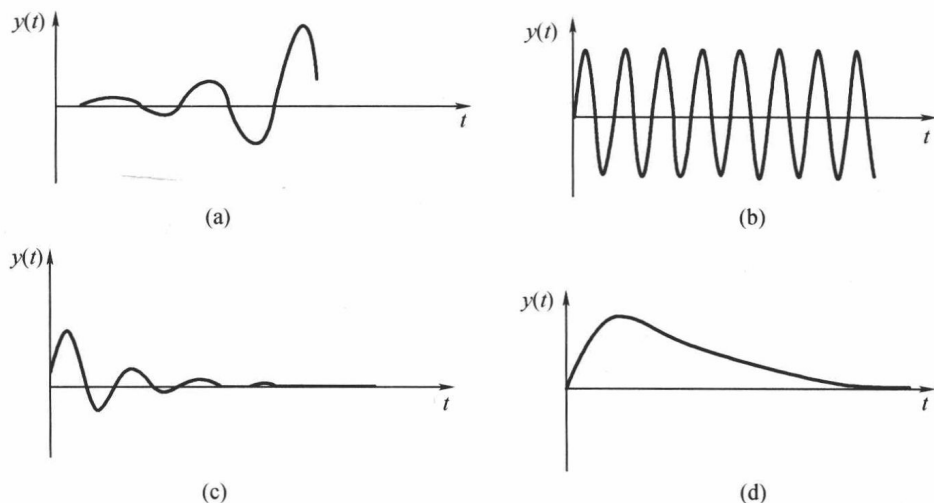


图1-1-4 过程曲线基本类型示意图

但是,即便是衰减振荡过程,还存在衰减快慢的问题,并不是所有衰减振荡过程都符合要求。为了便于讨论控制系统动态过程品质,通常采用一些定量指标加以衡量。在定值控制和随动控制两种情况下,评定动态过程品质的指标有些相同,有些不同。

图 1-1-5 和图 1-1-6 分别给出了定值控制和随动控制系统在 t_0 时刻给定值阶跃变化和外部扰动阶跃变化的动态过程曲线。归纳起来,评定控制系统动态过程品质的指标包含以下三个方面:

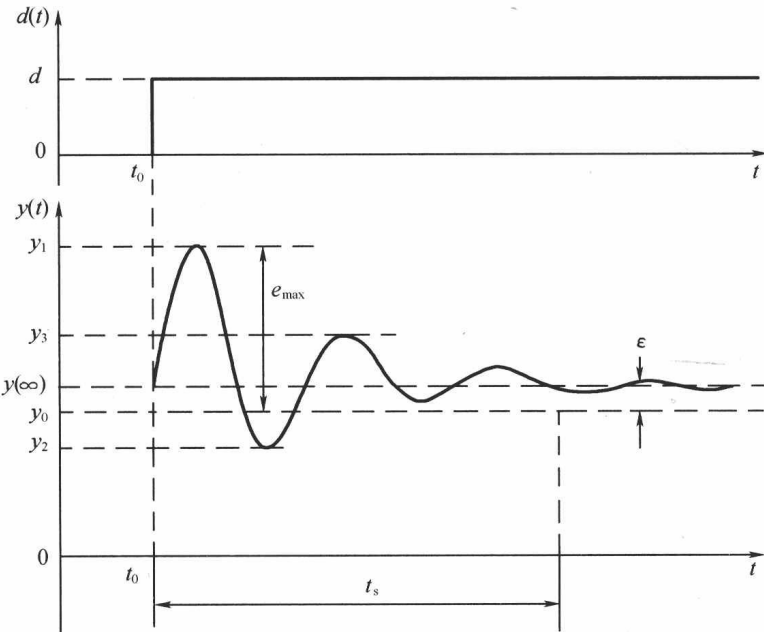


图 1-1-5 定值控制系统的动态过程图

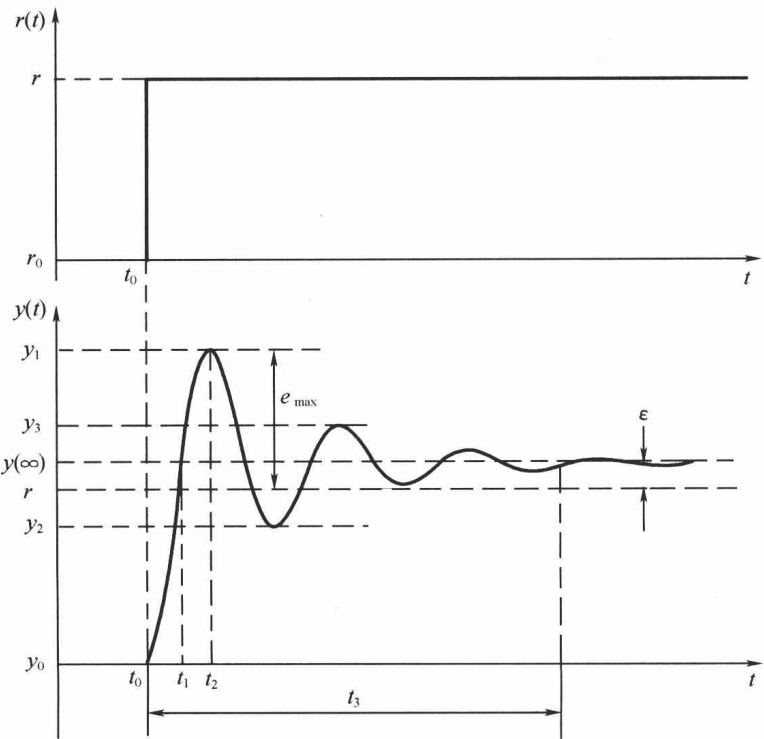


图 1-1-6 随动控制系统的动态过程图

1. 稳定性指标

(1) 衰减率 φ

衰减率 φ , 是指在衰减振荡中, 第一个波峰值 y_1 与第二个同相波峰值 y_3 的差值跟第一个波峰值 y_1 之比, 即

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

与衰减率相对应的另一种衡量指标是衰减比。所谓衰减比是第一个波峰值 y_1 和第二个同相波峰值 y_3 的比值, 即 y_1/y_3 。

衰减率 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, y_1 是 y_3 的 4 倍, 此时衰减比为 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。

(2) 振荡次数 N

振荡次数 N , 是指在衰减振荡中, 被控量的振荡次数。一般要求被控量振荡 2~3 次就应该稳定下来。

2. 准确性指标

(1) 最大动态偏差 $e_{\max}$

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 $e_{\max}$ 小些为好, 但不是越小越好, 因为 $e_{\max}$ 太小, 有可能使动态过程的振荡加剧。

(2) 静态偏差 ε

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, 使用不同作用规律的调节器, 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, 称为有差调节, 即 $\varepsilon \neq 0$; 有的控制系统受到扰动后, 在调节器的控制作用下, 被控量最终能够稳定在给定值上, $\varepsilon = 0$, 称为无差调节。

(3) 超调量 σ_p

对于随动控制系统, 通常采用超调量 σ_p 来衡量其动态精度。所谓超调量 σ_p , 是指在衰减振荡中, 第一个波峰值 y_1 减去新稳态值 $y(\infty)$ 与新稳态值 $y(\infty)$ 之比的百分数, 即

$$\sigma_p = \frac{y_1 - |y(\infty)|}{|y(\infty)|} \times 100\%$$

超调量是评定控制系统动态精度的指标。超调量太大, 说明被控量偏离规定的状态太远, 对于一些要求比较严格的场合, 都有允许的最大超调量要求。在实际系统的过渡过程中, 一般要求 $\sigma_p < 30\%$ 。

3. 快速性指标

(1) 过渡过程时间 t_s

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, 这个时间是无穷大的。因此, 通常这样定义过渡过程时间 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, 在 $t \geq t_s$ 的所有时间内, 被控量 $y(t)$ 的波动值均小于或等于最终稳态值 $y(\infty)$ 的 2% 或 5%。

(2) 上升时间 t_r

在讨论随动控制系统时, 通常还用到上升时间 t_r 和峰值时间 t_p 。所谓上升时间 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 $y(\infty)$ 所需的时间。在图 1-1-6 中, $t_r = t_1 - t_0$ 。

(3) 峰值时间 t_p

所谓峰值时间 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的时间。在图 1-1-6 中, $t_p = t_2 - t_0$ 。 t_r 和 t_p 都是反映动态过程进行快慢的指标。 t_r 和 t_p 越小, 说明系统惯性越小, 动态过程进行得越快。

五、自动化仪表

在船舶机舱中, 自动化仪表的应用是相当广泛的。自动化仪表不仅能在反馈控制系统中对运行参数进行自动控制, 同时也能对运行参数进行测量和显示。

自动化仪表按用途分类, 有测量仪表、显示仪表、调节器和执行机构; 按使用能源分类, 有气动仪表和电动仪表; 按结构形式分类, 有基地式仪表和单元组合仪表。所谓单元组合仪表, 是指控制系统的各种功能都分别用一台独立的仪表来实现, 包括测量仪表、显示仪表、调节器等, 各仪表之间用统一的标准信号联系起来。气动仪表的统一信号是 0.02 ~ 0.1 MPa; 电动仪表的统一信号是 0 ~ 10 mA 或 4 ~ 20 mA。所谓基地式仪表是指, 把测量仪表、显示仪表和调节器组装在一个壳体内, 成为不可分的整体, 它们之间也不用统一信号联系。

在船上所采用的气动仪表中, 基地式仪表和单元组合式仪表两种形式都有, 而气动单元组合仪表应用得更多一些。

1. 气动仪表的主要元部件

气动仪表的种类繁多, 功能相同仪表的结构也是千差万别的。但是, 构成这些仪表的元部件数量并不多, 主要有弹性元件、节流元件、气体容室、喷嘴挡板机构和功率放大器等。

(1) 弹性元件

弹性元件有弹性支承元件和弹性敏感元件两类, 螺旋弹簧和片簧属于弹性支承元件, 用于支承、平衡或增强弹性敏感元件的刚度, 弹性敏感元件的作用是将承受的压力或轴向推力转变成位移信号, 弹性敏感元件的刚度较小、灵敏度(刚度的倒数) δ 较大, 当对弹性敏感元件施加一定的轴向推力时, 其变形位移量较大, 也就是说, 它们对轴向推力的变化反应是敏感的。螺旋弹簧刚度较大, 通常与弹性敏感元件组合使用, 以增加其刚度, 也多用于调整弹性敏感元件的初始位置。如图 1-1-7 所示。

弹性敏感元件有波纹管、金属膜片、橡胶膜片、弹簧管和金属膜盒等, 如图 1-1-8 所示。假定送入波纹管的气压信号 p , 它是弹性敏感元件的输入量, 波纹管的位移量 s 是弹性敏感元件的输出量, 显然输出与输入的关系是

$$s = \frac{p \cdot F_e}{E}$$

式中, F_e 是波纹管的有效面积, 这个有效面积要大于波纹管顶部的几何面积 $\frac{\pi d^2}{4}$; E 是波纹

管和支承弹簧的总刚度。

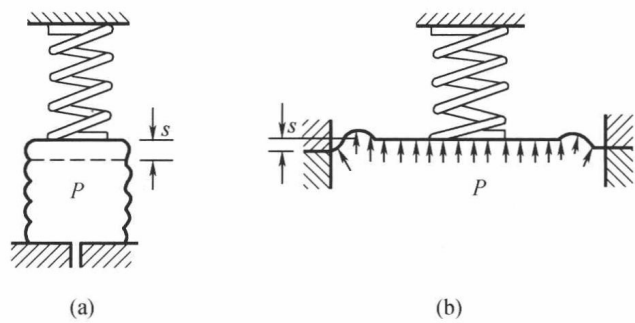


图 1-1-7 弹性元件组合示意图

(a) 螺旋弹簧与波纹管组合元件; (b) 螺旋弹簧与膜片组合元件

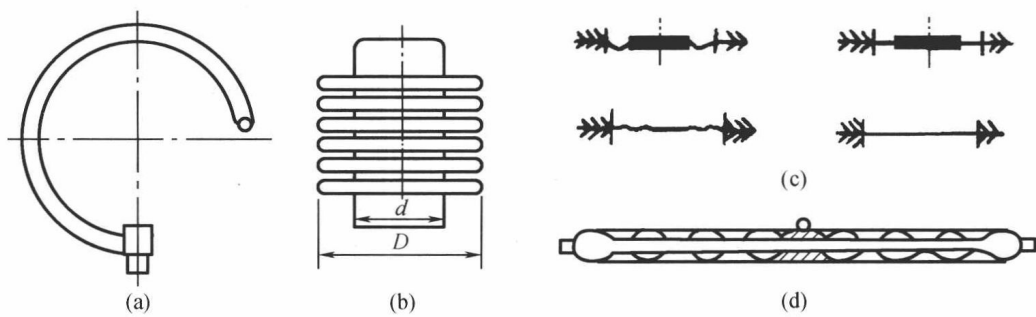


图 1-1-8 主要弹性敏感元件

(a) 弹簧管; (b) 波纹管; (c) 膜片; (d) 膜盒

从上面的式子可以看出,弹性元件在弹性变形范围内,其刚度 E 为常数,波纹管的有效面积为常数,则弹性元件的输出量 s 与输入量之间是成比例关系的。实验结果表明,对波纹管的压缩变形比拉伸变形具有更好的线性关系,且处于压缩状态能承受较大的压力。如果一开始让波纹管处于自由状态,其工作过程中是处于拉伸变形,则它的变形量不大就进入了非弹性变形区。为此,在实际安装波纹管时,常采用预压缩的办法来提高波纹管的线性使用范围。

金属膜片在弹性变形范围内,其变形量很小,为增加它的线性范围,常制成波纹状,且与水平面成一定角度。弹簧管有单圈弹簧管和多圈弹簧管。单圈弹簧管自由端位移量较小,如果在弹性变形范围内要得到较大的变形,可采用多圈弹簧管。橡胶膜片很软,在小的工作范围内,其刚度可近似看成零。在实际使用中,往往制成波纹状且中间加硬芯。

(2) 节流元件

在气动仪表中,节流元件起着阻碍气体流动的作用。它能产生压降和改变气体的流量。节流元件按其工作特点可分为恒节流孔和变节流孔两种类型。

常用的恒节流孔节流元件有:毛细管式和小孔式,如图 1-1-9 所示。毛细管式可用不锈钢或玻璃管制成,直径为 $0.18 \sim 0.3 \text{ mm}$ 。小孔式恒节流孔的内径有几种常用规格,即 0.25 mm , 0.30 mm , 0.50 mm , 长度为 4 mm 。

衡量节流元件特性的参数是气阻。通常把气体流过节流元件在两端产生的压降,与气体流量之间的对应关系称为节流孔的流量特性。显然,节流孔内径越小,产生的压降也就越大。

我们常用气阻 R 来表示节流元件对气体流动阻碍作用的大小,若气体在节流孔中处于层流状态时,气阻 R 、压降 Δp 和流量 G 之间的关系为

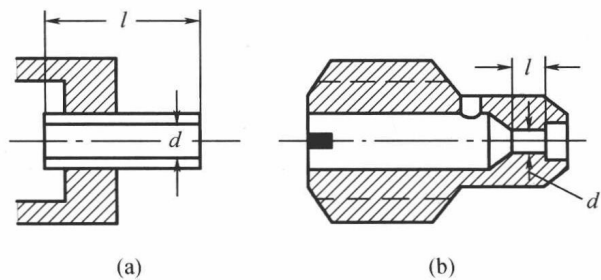


图 1-1-9 恒节流孔图
(a)毛细管式;(b)小孔式

$$R = \frac{\Delta p}{G}$$
$$\Delta p = G \cdot R$$

由于恒节流孔内径不能改变,气阻不能调整,所以常称为恒气阻或固定气阻。

变节流孔是指,气体经过节流孔流通时的流通面积是可以调整和改变的,其结构形式有圆锥-圆锥型、圆柱-圆锥型、圆球-圆锥型等,如图 1-1-10 所示。由于变节流孔的流通面积是可调的,故在气体流过节流孔产生相同压降的情况下,其流量是不同的,即气阻 R 不同,所以变节流孔的气阻 R 叫可调气阻。常用变节流孔组成变节流阀,用于调整比例带、积分时间和微分时间。

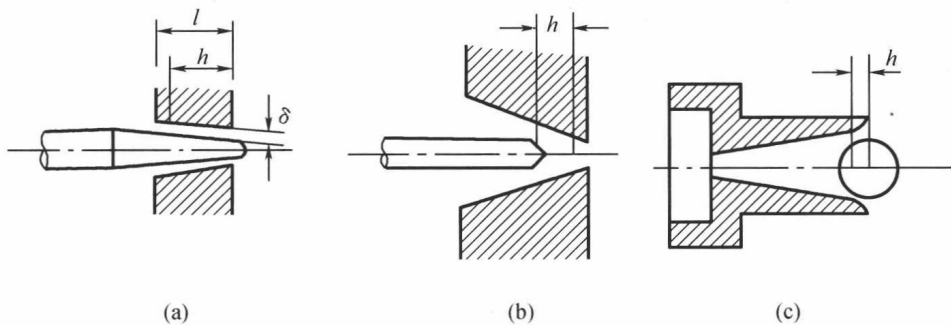


图 1-1-10 变节流孔图
(a)圆锥-圆锥形;(b)圆柱-圆锥形;(c)圆球-圆锥形

(3)气体容室

气体容室简称气容,在气动仪表或气路中,能贮存或放出气体,对压力变化起惯性作用。目前,所采用的气体容室有定容气室和弹性气室,如图 1-1-11 所示。

定容气室是连接在气动管路上的一个能贮存气体或放出气体的空腔,其特点是它的体积不变。一个气体容室贮存空气量的能力,常用气容 C 来表示,气

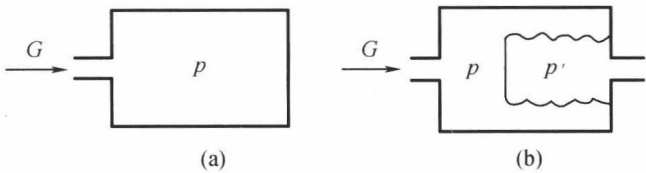


图 1-1-11 气体容室图
(a)定容气室;(b)弹性气室

容 C 的物理意义是,气体容室内,每升高单位压力所需增加的空气量,即

$$C = \frac{dm}{dp}$$

式中, dm 是气体容室内空气贮存量的增量, dp 是空气压力的增量。可见,气容 C 的大小是由气体容室的体积决定的。体积越大,压力每升高一个单位,气室内需要增加更多的空气贮存量,说明它贮存空气的能力大,即气容 C 大。对定容气室来说,由于气室的体积不变,故气容是个常数,其储蓄特性如图 1-1-12(a) 所示。

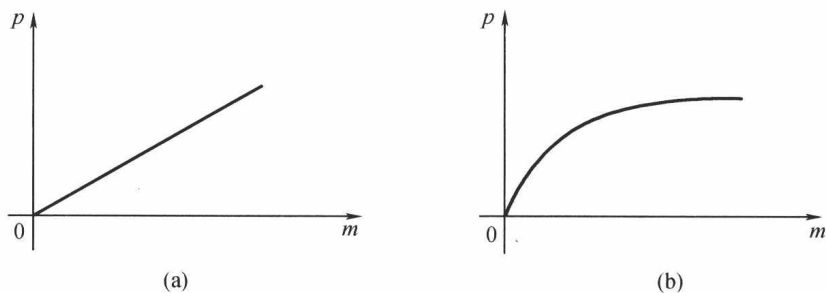


图 1-1-12 气容储蓄特性图

(a) 定容气室气容储蓄特性; (b) 弹性气室气容储蓄特性

弹性气室是在空腔中加装了一个波纹管,其容室的体积(空腔与波纹管之间的体积)随压力 p 的变化而变化,弹性气室在充、放气过程中,气容是变化的,它的储蓄特性如图 1-1-12(b) 所示。

(4) 喷嘴挡板机构

喷嘴挡板机构是气动仪表最基本,也是最精密的元件,它的作用是,把挡板微小的位移转换成相应的气压信号。喷嘴挡板机构的结构如图 1-1-13 所示。它由恒节流孔 1、喷嘴 3、挡板 4 及背压室 2 (恒节流孔与喷嘴之间的气室) 所组成。

与恒节流孔相比较,喷嘴的孔径 D 要大得多,保证挡板全开(远离喷嘴)时,背压室的压力能降低到接近大气压力,同时,喷嘴的轴心线必须与挡板垂直,保证挡板全关(靠上喷嘴)时,具有良好的密封性,这时背压室的压力接近气源压力 0.14 MPa。显然,挡板开度 h 越小(挡板离喷嘴越近),气体从喷嘴流出的气阻越大,背压室中的压力越高。

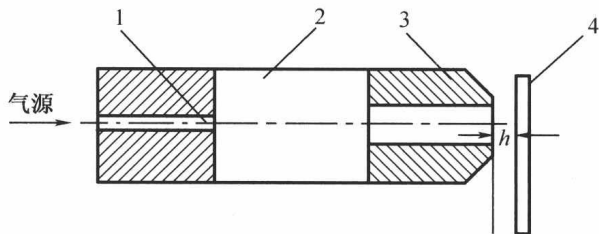


图 1-1-13 喷嘴挡板机构的示意图

1—恒节流孔; 2—背压室; 3—喷嘴; 4—挡板

若挡板开度 h 增大(挡板离喷嘴远),气阻越小,背压室中的压力越低。实际上,喷嘴挡板是起到变气阻的作用,不同的挡板开度就对应一个不同的背压室压力。在稳定工况下(恒节流孔与喷嘴流量相等),背压室中压力不变,即背压室压力 p (输出量)与挡板开度 h (输入量)之间的一一对应关系称为喷嘴挡板机构的静特性,其实验曲线如图 1-1-14 所示。

当挡板处于全关($h=0$)状态时,由于喷嘴挡板受加工和装配精度所限,难免有一点漏