



高等学校统编教材

船舶动力装置自动化

(修订版)

赵国光等 合编

国防工业出版社



U654
Z320
(2)

252147

船舶动力装置自动化

(修 订 版)

赵 国 光 等 合 编



国防工业出版社



内 容 简 介

本书主要介绍船舶发动机、船舶动力装置的多级自动控制系统的工作原理、线性控制系统理论基础以及该理论在上述系统中的应用、动态特性测试和系统调试方面的知识、非线性系统理论概念,还有推进装置远操纵系统的基本原理、元件和典型系统的介绍。

本书为高等学校船舶动力装置、船舶动力机械、船舶轮机工程等专业的教材,也可作为其他动力专业师生以及从事船舶动力装置自动化专业技术人员的参考书。

船舶动力装置自动化

(修 订 版)

赵 国 光 等 合 编

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张19 $\frac{1}{2}$ 155千字

1986年12月第二版 1986年12月第二次印刷 印数: 2,701—4,700册

统一书号: 15034·2166 定价: 2.80元

修订版说明

本书根据船舶动力专业教材编审小组制订的第二轮教材出版计划，在第一版基础上修订再版。

本书第一版于1981年出版，这次修订作了较大的变动，主要是增加了自动控制理论，并更新了实际控制器和控制系统的内容。这些变动体现了我们这几年来教学实践的经验，也反映了船舶动力装置自动化发展的需要。

本书按七十学时的要求编写，共分十一章。其中第一章叙述船舶动力装置自动化的基本概念；第二章介绍常见的自动控制仪表和系统；第三和四章为线性控制理论基础；第五到七章为控制理论在动力装置自动控制系统中的应用；第八章为非线性理论概念；第九、十和十一章为推进装置远操纵系统的基本知识、理论和典型系统介绍。本书按上述新大纲编写，其中标有***的章节以及§5-4中（二）的相关分析法和§6-4、§6-5、§6-6三节中有关根轨迹法部分为选修段，供各校在教学中取舍。

在修订过程中，赵国光和顾志明共同承担了统稿等主要工作。各章编写人为：赵国光（第一、四章），顾志明（第五、六、七章），黄刘琰（第九、十、十一章），包伟业（第二、八章）和吴寿民（第三章）。

本书由镇江船舶学院陈宽同志主审，并提出许多宝贵意见，借此表示衷心感谢。

在本书编写过程中，上海船舶运输科学研究所等单位曾提供了资料，在此一并表示感谢。

由于编者水平有限，书中肯定有不少疏忽、错误之处，望广大读者以及使用本书的有关院校师生和专家们批评指正。

编 者

目 录

第一章 概述	1	§ 4-8 稳定裕度	117
§ 1-1 自动控制的初步概念	1	§ 4-9 根轨迹分析法	120
§ 1-2 轮机自动化的内容	4	§ 4-10 用计算机仿真法研究系统的 动态特性	128
§ 1-3 轮机自动化的作用	5	第五章 动力装置被控对象动态特 性和数学模型	130
§ 1-4 轮机自动化发展情况	6	§ 5-1 被控对象动态特性分析基础	130
§ 1-5 本书编写内容概述	7	§ 5-2 内燃机数学模型机理分析	140
第二章 船用典型调节器及主要 控制系统	8	§ 5-3 冷却器数学模型机理分析	146
§ 2-1 双位控制	8	§ 5-4 被控对象动态特性的实验测定	149
§ 2-2 直接式调节器	11	第六章 动力装置控制系统性能 分析	157
§ 2-3 船用气动调节仪表	15	§ 6-1*** 减幅频率响应	157
§ 2-4 电动调节仪表	22	§ 6-2*** 闭环系统产生振荡的条件	160
§ 2-5 执行器	24	§ 6-3 控制系统的性能指标	163
§ 2-6 柴油机调速器	29	§ 6-4 调节器静态增益和惯性对控制 性能的影响	165
§ 2-7 柴油机冷却循环温度调节系统	33	§ 6-5 积分控制作用对控制性能的 影响	169
§ 2-8 燃油粘度调节系统	35	§ 6-6 微分控制作用对控制性能的 影响	174
§ 2-9 辅锅炉自动控制系统	38	§ 6-7*** 被控对象特性对控制性能的 影响	177
第三章 动态特性及其表示法	43	§ 6-8 调节阀流量特性对控制性能的 影响	180
§ 3-1 用微分方程表示动态特性	43	§ 6-9 前馈控制	182
§ 3-2 传递函数	58	第七章 动力装置控制系统的工程 计算和现场整定	185
§ 3-3 传递函数方框图及其运算法则	62	§ 7-1*** 典型双容对象控制系统计算	186
§ 3-4 物理系统传递函数的推导	66	§ 7-2*** 典型带小纯延迟对象控制系统 计算	190
§ 3-5 频率特性	79	§ 7-3 控制系统现场整定	195
第四章 控制系统的响应	95	§ 7-4*** 控制系统计算机辅助计算	199
§ 4-1 自动控制系统及其框图与传递 函数	95		
§ 4-2 自动控制系统的响应	97		
§ 4-3 一阶系统的响应	101		
§ 4-4 二阶系统的响应	103		
§ 4-5 高阶系统的响应	108		
§ 4-6 自动控制系统的稳态误差	109		
§ 4-7 自动控制系统的稳定性	111		

§ 7-5 计算机辅助计算控制系统根 轨迹	201
--------------------------------	-----

第八章 非线性控制系统性能分析 206

§ 8-1 非线性控制系统概述	206
§ 8-2 描述函数概念	208
§ 8-3 非线性控制系统的描述函数 分析法	213
§ 8-4 相平面法的基本概念	215
§ 8-5 相平面图的分析	219

第九章 远操纵系统的基础知识 225

§ 9-1 远操纵系统的基本概念	225
§ 9-2 逻辑运算的基本知识	228

第十章 气动远操纵系统 234

§ 10-1 气动逻辑元件	234
§ 10-2 气动随动系统及其元件	242
§ 10-3 气动随动系统的静态分析	244
§ 10-4 非反转式柴油机装置的气动远操 纵系统	247

§ 10-5 大型低速柴油机的遥控	251
-------------------------	-----

第十一章 电动远操纵系统及其基 本环节 259

§ 11-1 简单随动系统的工作原理	259
§ 11-2 电子随动系统的结构框图	260
§ 11-3 自整角机	261
§ 11-4 相敏整流	263
§ 11-5 逻辑电路简介	264
§ 11-6 直流伺服电机及其控制	270
§ 11-7 电子随动系统电路实例	272
§ 11-8 大型低速柴油机电动逻辑控制 实例	275

附录 282

I 拉普拉斯变换 282

II 利用拉氏反变换求解线性微分 方程 286

III 奈魁斯脱判据的证明 295

IV 例题 298

参考文献 306

第一章 概 述

自动控制现在已愈来愈广泛地应用到各种工程的专业中，自动控制水平往往是衡量技术先进水平的重要标志之一。从学科发展看，自动控制吸收了很多专业技术和自然科学的成就，理论和实践得到了很快的发展；而另一方面，现代的各种工程学科又包含着本专业的自动控制技术，也即自动控制理论和技术在该工程中应用的专门知识。因此自动控制与很多学科建立起密切和广泛的关系，自动控制成为一门多科性的科学技术。

随着自动控制在各种工业中获得应用、发展和成熟，船舶自动控制技术也得到很快发展，并成为二次大战结束以后，船舶技术发展的几个主要方面之一。船舶自动化包括：1. 驾驶自动化，如自动舵、自动定位、自动选择最佳航线和自动避碰等；2. 装卸和压载的自动化，如油轮装卸、压载仓注、排水自动化、冷藏仓温湿度自动调节等；3. 行政管理、医疗、生活方面的自动化；4. 特种设备的自动化，如军舰武备、观通的自动化；5. 动力装置的自动化。而动力装置的自动化是这些自动化中最常见、最基本的内容。

自动控制是很有前途的学科，它的发展趋势也是不可限量的。自动化已成为多数现代专业不可分割的一个部分，是现代化的一个必要内容。大多数专业的科技人员都应了解或掌握自动控制技术，对于轮机专业更是如此。

§ 1-1 自动控制的初步概念

一、手控与自动控制

图 1-1 是一个水柜，其中的水经阀 a 流出并供应用户，又经阀 b 补充。显然，流出流量的变化会影响水位高度 h 。用户希望水源压力不变，因此水位 h 应维持在一定范围之内，这可用人工控制。在水柜上安一个水位表，人观察水位表读数并调整阀 a 的开度。但是 1) 这是一个不精确的系统，不能随时按实测水位精确和及时地确定阀门 b 的开度，因而水位也不能精确维持在要求的范围内；2) 这是一个始终要有人在旁监视和操作的系统。

图 1-2 中水柜内装有浮子以控制阀 b 的开度。这就消除了图 1-1 所示系统的缺点。图 1-2 是一个最简单的自动控制系统。浮子自动测量水位的实际高度并与水位期望值

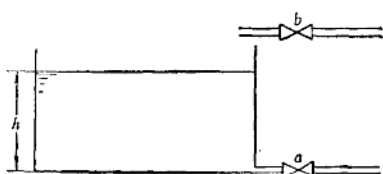


图1-1 水柜及其液位

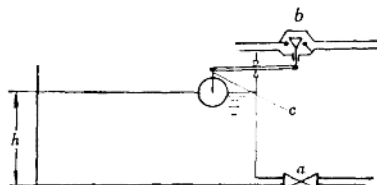


图1-2 利用浮球阀控制水柜的水位

(由浮子安装高度决定, 可改变杆 c 的长度以改变安装高度) 比较, 按差值确定 阀 b 的开度。

图 1-3 为另一系统。有两个接在同一电源上的电位器——发信与受信, 发信电位器的电刷由手轮转动, 而受信电位器由伺服电机通过齿轮减速器传动。当两个旋臂带动的电刷处于同一角度时, 电刷上的电位相等, 伺服放大器的输入为零, 伺服电机不动。当手轮转到新的角度时, 两电刷电位不同, 它们的电位差, 即伺服放大器的输入不再为零, 放大器输出一定的控制电流, 使电机转动。一方面驱动输出轴旋转, 另一方面使受信电位器电刷转动, 转动的结果使两个电刷又处在同一角度, 电机停止转动。因此输出轴的角位移是跟随手轮角位移而改变。

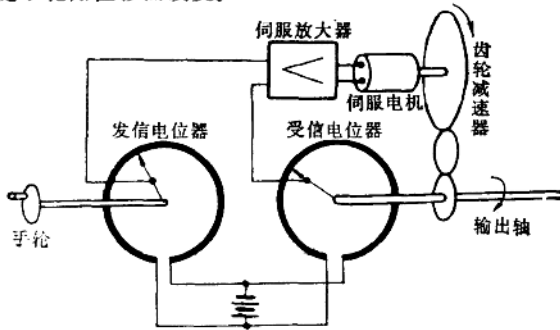


图1-3 电动伺服系统

二、自动控制系统

从以上水箱的示例中可以看到, 阀 a 开度 x_a 会引起水流出量的变化, 因而引起水位升降。 x_a 由用户确定, 为系统以外的因素, 称扰动或外扰。为满足用户需要, 应保持水位为一恒值, 或只允许在一较小范围内变动。此水位 h 即为被控或被调节参数。而水箱为被控对象。由浮球安装位置确定的水位期望值 h_0 称给定值或目标值。浮球机构能自动比较水位的实测值 h 与目标值 h_0 的差而确定阀 b 的开度 x_b , 阀 b 的开度就是对 h 施行的纠正作用。以上这些物理量 x_a 、 h 、 h_0 、 x_b 之间有单向的影响关系。图 1-4 用框图表示此系统的组成。箭头表示各框相互影响的方向, 或者说相互间按箭头方向传递信号。箭头指向方框的称为此方框的输入量, 背向方框的称为输出量。由输入引起的输出, 称为对此输入的响应。

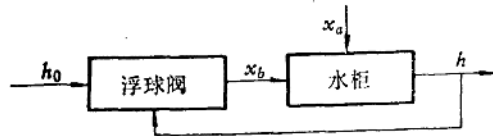


图1-4 水位调节系统的框图

图 1-3 的系统可以用方框图 1-5 表示。伺服放大器的输入端来自两个电位器的电刷, 就是来自两个电刷电位之差, 因此可看作比较电路, 或者说在伺服放大器前有一比较器。伺服电机传动齿轮组成伺服机构, 其旋转角度即被控参数。

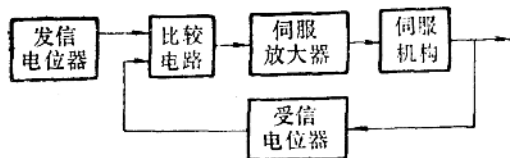


图1-5 电动伺服系统的框图

以上两个系统都对被控参数检测, 并比较被控参数与目标值, 由控制器按其差值的大小与正负确定控制信号。后者称控制量, 也即被控对象的输入量。信号的传送在系统中构成一个闭合的回路, 称闭环。图 1-6 表示这类系统更一般化的框图。被控参数作为一个信号通过检测器和比较器又返回到控制器的输入端, 称反馈。由于控制器是按比较器输出的偏差信号工作的, 故此种反馈是负反馈。要是正反馈的话, 系统是不能正常工作的。

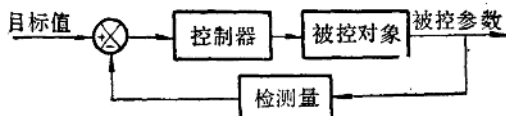


图1-6 控制系统框图

另一种系统, 它并不比较被控参数与目标值的差, 其框图并不构成一个闭合回路, 此种系统称开环系统。如果我们在图 1-3 所示系统中, 取消两个电位器, 而用人工直接控制伺服器的输入电压, 也可控制伺服电机工作, 从而使输出轴达到一定的角位移, 这就构成一个最简单的开环系统。

反馈系统, 由于能自行检测被控参数的偏差, 因此控制精度高; 并且还可减少系统内部参数变化对系统性能的影响, 因此就有可能采用不很精密的元件以减低成本。但由于构成闭环系统的元件有惯性, 易引起闭环中信息传递的滞后, 而引起系统的振荡现象。

图 1-2 中的系统, 其自动控制的目的是自动保持被调参数为已规定的给定值或在其允许范围内跳动, 以抑制外扰对被调参数的影响, 这种系统称自动调节系统或稳值系统。图 1-3 所示系统, 其自动控制的目的是使输出轴转角自动跟随控制手柄转角, 即由手柄规定目标值, 输出轴转角为被控参数。如果目标值是随时规定的, 这种系统则称随动系统或跟随系统。

如果给定值是按某种事先规定的规律, 也即规定的函数变化, 就叫参数程序控制系统。

这些系统都属较简单的单回路系统, 有时会有较复杂的系统, 例如串级控制系统与比值控制系统。

调节器可遵循不同的调节规律工作。调节器接受偏差 (被调参数的测量值与给定值之差) 信号后可遵循下列规律之一发出控制信号。常见的调节规律有下列数种:

位式规律 例如双位调节阀, 当测量值大于某规定值时全开, 小于则全关。

比例规律 (P) 控制信号与偏差成比例。

积分规律 (I) 控制信号与偏差对时间的积分成比例。

微分规律 (D) 控制信号与偏差对时间的微分成比例。

把以上这些规律组成在一起, 形成 $PI(P+I)$, $PID(P+I+D)$ 等。

有些调节器不需专门提供能量即能工作, 称直接式调节器。有些调节器需专门提供能量, 称间接式调节器。按提供能量的不同可分成气动、电动、液动调节器。

以上介绍的自动控制系统都是连续系统, 因为这些系统各元件的输入、输出信号都是时间的连续函数。在系统中只要有一个元件通过采样开关, 每隔一段时间接受一次输

入量, 送出一输出量, 其输出信号就成为离散脉冲序列。这种系统称为离散系统, 计算机控制系统就是这种系统。

连续的与离散的控制系统的区别, 而在另一些控制系统中被控量无大小程度的区别, 却仅有两种状态的区别。在实际生活中即有这种例子。电灯开关只有“合”和“断”, 电灯作出的响应也只有“亮”与“灭”的状态区别。公共汽车开门按钮只有两个位置, 相应的车门也只有开、关两种状态。在轮机自动控制中, 起动阀只有开、关, 离合器只有结合和脱开; 可换向柴油机的换向机构, 只有正车、倒车。对这些机械控制的系统中传递信号, 当然也只有两种状态, 这种信号叫逻辑信号, 这种系统叫逻辑控制系统。逻辑系统常用来按顺序自动地完成一系列的操作, 此种系统称为逻辑程序控制系统。逻辑元件根据输入量的状态或时间而确定其输出量的状态。例如在柴油机远操纵系统中, 起动柴油机一般必须: 1) 有起动指令信号, 2) 转速测量元件发出转速低于起动转速的信号。这两个信号通向一个逻辑元件。以上两个条件成立, 即两个信号都是“是”, 而不是“非”, 则此逻辑元件发出“打开起动阀”的信号。一旦起动成功, 柴油机转速上升, 上述第二信号转成“非”, 于是逻辑元件发出“关闭起动阀”的信号。如此完成起动的自动控制。

逻辑程序控制系统同样存存气动、液动、电动或混合的区别。

§ 1-2 轮机自动化的内容

现代轮机自动化, 除包括上述自动控制外, 尚有监视、报警等部分。轮机自动化可以有以下主要内容:

一、参数调节

正如上节所述, 参数自动调节指自动保持被调参数在规定值, 或只在规定值附近一定范围内变动。在轮机自动控制中需要自动调节的参数很多, 如:

柴油机和涡轮机的转速;

气压或汽压 像锅炉蒸气压力, 压缩空气的气压;

温度 像冷却系统中的水温, 润滑系统中的油温, 冷藏库温度;

液位 如锅炉中的水位, 油柜中的油位;

粘度 像重质燃料油的粘度。

二、远距离操纵

通常指的是推进装置驾驶台或集控室(台)操纵。其功能包括主机的起动、停车, 推进装置的换向, 可调桨的螺距控制, 离合器的开、合, 多机装置的并车及负荷分配等。人员可在驾驶室或集控室的控制台上, 用简单的动作操纵控制手柄, 即可令推进装置完成以上的各种操作。这种系统通常由随动系统和逻辑程序控制系统综合组成。

三、自动程序控制

以上的推进装置远操纵需由人通过控制手柄发出指令。另有一些系统能自动发出指令, 而控制系统按预定程序完成一连串的操作。例如在船舶电站中, 当运行中的发电机

组其负荷增加到超出规定值时,便自动发出使备用机组投运的指令。在此情况下,要完成起动柴油机、升速、调整电压与频率、并网和均衡负载等预定的操作。又例如在船用辅助锅炉自动化中,当锅炉汽压降到一定值时(此时锅炉处于熄火状态),则自动发出起动指令,控制系统先使炉膛扫风(防止炉膛冷爆),然后喷油,点火电极发出火花,待火点着,电极停止工作。当锅炉喷油燃烧后,汽压逐渐回升。在汽压升到另一规定值以上时,自动停火,这包括停止油泵工作,经一段时间扫风后,又停止风机工作。在燃烧时如因故发生自行熄火,则自动报警,或按一定程序重新启动,或禁止自行起动。

四、监视、报警和故障保护

为了保证轮机中各种机械设备的安、可靠和正确的运行,应设置各种检测仪表和信号灯,以便随时了解各重要运转参数和机械设备的运行状态。随着自动化的发展和轮机人员的减少,对这些参数和运行状态的监视就越感重要。在集控室中,可方便地检测所有重要参数,了解所有机械的运行状态,再加上能对大部分机械进行控制,因此只要有一、二个人在集控室值班就可管理全部动力装置。在无人值班机仓的船上,有更为完善的报警系统延伸到船员房间、公共场所和驾驶台。有些船上设立巡回检测系统以便自动巡回检测各运行参数。当这些参数发生越限时则报警,有的还会自动记录。更完善的还可在故障出现时自动降低机械负荷或停机,或自动切换备用机组或其他排除故障的措施。近年来又发展了故障诊断、故障预报等新技术。

五、火灾报警和自动灭火

由于自动化程度的提高,机仓中值班人员减少甚至无人值班,所以火警系统愈显重要。机仓中应设置各种火警探测器、报警和自动灭火设备等。

各种船舶上的轮机,其自动化程度各有不同。有些船具有某些单项自动化,有些船有推进装置的驾驶台远操纵;有的船还有集中监视报警,并设立集控室。有的船可实现定期机仓无人值班;也有的船不仅有常规的自动化,还有计算机监视和控制。

§ 1-3 轮机自动化的作用

轮机中采用自动化,其主要作用可归纳为以下几方面:

一、保证动力装置的正常运行,提高动力装置的技术性能

自动调节系统能保持动力装置在运行中的一些重要参数处于正常范围之内,从而保证了机电设备和系统的正常工作。例如锅炉因水位太低而易烧损,太高则蒸气湿度过大,采用水位自动调节技术可避免水位过高或过低。内燃机在负荷变动时,转速会发生变化,这种变化对运行不利,如作发电动力使用时,还影响发电频率和电压,降低供电质量。采用自动调速技术就可避免转速太高或太低。推进装置采用驾驶台式集控室远操纵后,不需要通过车钟向轮机员发指令,然后再由轮机员亲手操纵推进装置。由于免除了这一些中间环节,可使船舶运行工况应变迅速,反应自如,提高了机动性;并且有利于避免船舶碰撞等严重事故。又如多主机并车装置,尤其是柴油机-燃气轮机并车的装置,各机组间在运行中应良好协调,故操纵复杂。如用人工操纵,各操作人员分散在各机组的

控制台直接操纵,难于及时相互配合。采用远操纵后,在同一个操纵台上,用一个或少数几个手柄操纵,则可很好解决上述问题。这样就可保证将这些多机并车装置的优越性能真正发挥出来。对于军舰来说,则有利于战术性能的提高或发挥。

二、提高动力装置的可靠性

采用参数自动调节技术可保证热工参数值正常,避免由于手动控制失误而造成的机损事故。例如由于手调冷却水温不当而使水温过高或过低,或变动过快而引起缸套润滑恶化或缸套开裂等。推进装置远操纵系统能自动按合理的顺序操纵推进装置,可避免人工直接操纵时由于疏忽或技术不熟练而引起的机械损坏。监测报警系统随时监视动力装置的运行并及时报警,使故障还未发展到损坏或严重损坏机械设备前就提醒轮机管理人员,使他们能去排除这些故障。有些报警系统还可自行停止故障设备的运行或降负荷运行,也可避免机损事故的发生。

三、提高营运的经济性、合理性

操作自动化的船可减轻船员的体力劳动,减少船员人数,因而减少船员的工资支出及船员在船上生活所需的支出。但是更有意义的,尤其对我国来说(对其他技术先进国家来说也是重要的),船员可从值班岗位(守候在机器旁,随时准备接受和执行操纵机器的命令,监视仪表显示的各运行参数或凭各种感觉了解机电设备是否运行正常)上解放出来,去组织有计划的检查和维修工作,以提高设备的技术完好率,因此就可提高船舶营运率,使一艘船在一年中完成更多的任务,减少修船费用,延长停航修理周期。国外一些资料表明,70年代的、自动化程度高的船,其营运率比50年代自动化程度低的船大约高14%。监测报警系统也可使机损事故减少,提高营运率和减少修船费用。当采用故障诊断技术后,可使检修更合理。采用自动化后,使装置运行正常,减少油耗。例如在锅炉上采用自动调节后,可保持合理的过量空气系数,提高锅炉热效率。

§ 1-4 轮机自动化发展情况

六十年代以前,重点是发展轮机主要设备的单元自动化,如锅炉的自动调节、以及其他各种热工参数的自动调节、主机的远操纵。这时尚未形成一个完整的自动控制系统。

1960~1964年间逐步发展机舱集中控制和较广泛地采用主机驾驶室远操纵。1961年11月,日本建成世界上第一艘机舱集中监视和远操纵的8千吨级的“金华山丸”货轮,只需一人值班。自动化的内容扩展到主机远操纵、排气温度自动记录、空压机远操纵及自动化、辅锅炉全自动、净油机自动操作、滑油滤器自动清洗、油水温度自动调节等。机舱中设有集控室。船员总人数减少到37人。此船引起世界各国极大关注。在这时期,一些大型低速柴油机的驾驶台远操纵系统相继研制成功。此后,机舱集控和主机驾驶台远操纵系统就迅速发展起来。

1965~1968年间开始发展定期无人值班机舱的船。由于主辅机和各种自动化设备可靠性的日益提高,在正常运行时,很少需要人员去照料。为进一步减少船员,就实现了18、24小时,甚至36小时无人值班的动力装置。这种无人值班机舱的船除了配备一

般的自动调节、自动控制、驾驶台主机远操纵系统外,尚有较完善的自动检测、监视、故障保护、自动切换等系统;还有火警探测系统,以及在驾驶台、居住舱、机舱之间的通信、报警、呼唤系统。这种船的船员可减少到22~30人、无人值班机舱的船迅速得到发展、各国船检局相继订立了有关自动化船的检验规范。

六十年代后期起,逐步利用计算机实现机舱自动化。1966年法国的Dollabella汽轮机油轮是世界上第一艘应用电子计算机的船。七十年代中期起,随着微型计算机的发展,此种计算机随即用到船上。微型机尺寸小,十分便宜,使用也方便。虽然容量速度小,但可采用多台计算机的设置方案,反而提高了可靠性。目前正在继续向这方面发展。

§ 1-5 本书编写内容概述

自动控制这一学科的内容十分广泛,其中有自动控制的理论,自动控制仪表和设备的设计和工艺,自动控制的实验研究技术,自动控制系统的和使用技术,计算机控制技术等等。自动控制理论总的可分成古典理论和现代控制理论。古典理论主要研究单输入输出的反馈控制系统,可以是线性或非线性的。关于线性定常系统的理论发展比较成熟。现代控制理论不仅能研究一般的系统,更重要的是可以研究多输入多输出非线性时变系统。对于最优控制和自适应控制等问题更是十分有效的。然而对于大多数控制系统,古典理论仍是有效的工具,仍旧是自动控制的理论基础。随着数字计算机的发展,离散控制理论也发展起来,但是离散控制理论只是连续系统控制理论的引伸,将线性系统古典理论加以发展就可用在离散系统上。在逻辑程序控制中,需要逻辑控制的理论,其数学工具为逻辑代数。逻辑程序控制在监视报警系统、数字计算机上也是很有用的。

本书介绍船舶动力装置自动化的基本理论和基本知识。鉴于上述原因,对参数控制系统仍介绍古典理论。本书第二章介绍各种常见的自动调节器,以及常见的自动控制系统。第三章介绍自动控制系统中各元件的动态特性以及它们的主要表示法,也即其数学模型,包括微分方程、传递函数和频率特性,从理论上说明调节器基本原理。第四章述说系统动态特性的基本分析法,主要是微分方程分析法、频率特性分析法和根轨迹法。第五章针对目前研究得较少而在控制系统中又举足轻重的被控对象,进行理论分析并介绍试验测定的方法。鉴于多年来工厂中运用古典理论解决控制工程实际问题普遍遇到较大困难,故在第六章中专门对古典理论加以引伸和补充,从而提出实用的分析方法,沟通控制理论和控制应用。第七章对控制系统提出专门的工程计算方法。此章还阐明控制系统计算机辅助计算的方法并提供相应程序。

线性系统介绍到第七章为止。第八章介绍非线性控制系统理论的基本概念,包括描述函数法和相平面法。

第九到十一章为推进装置的远操纵系统。其中第九章为基础知识,包括远操纵系统的一些主要概念以及逻辑运算的基本知识。第十与十一章分别介绍气动与电动的推进装置远操纵系统,包括这两类系统的逻辑元件、基本控制回路及系统实例。

第二章 船用典型调节器及主要控制系统

为了力求做到自动控制原理与实际自动控制系统的紧密结合,并应用自动控制原理来解决船用典型调节器的选型及主要控制系统的设计问题,本章介绍船用典型调节器及主要控制系统,使读者建立自动控制的初步概念,掌握一定的实际知识,以利进一步学习自动控制原理和自动控制系统的设计。

本章先介绍最简单的双位控制,再介绍气动调节仪表、电动调节仪表和调速器,然后介绍柴油机冷却循环温度调节系统、燃油粘度调节系统和辅锅炉自动控制系统等。

§ 2-1 双 位 控 制

船用双位式控制器主要指具有开关信号的压力继电器、温度继电器和液位继电器等。当被控参数超出上限或低于下限时,控制器上的电触点要么断开,要么闭合,使执行机构断电或通电,就使电动机停止或启动,或者使电磁阀全关或全开。总之,控制器的输出只有两个位置或者两种状态。因此双位控制是简单的一种控制方式。本节以空气压缩机的自动启动和停车作为双位控制的典型加以介绍,然后再介绍另一些双位控制的例子。

一、压力继电器

空气压缩机自动启动和停车的控制系统如图 2-1 所示。这里用了一只压力开关(又称压力继电器),它按照气瓶中压力的大小控制电磁启动器。电磁启动器使空气压缩机的电动机电源接通或断开,从而使空气压缩机启动或停车。

图 2-2 为一种压力继电器的结构图。图 2-3 为其工作原理图。

从图 2-3 中可看出,空气瓶中压力由继电器下方的管道传入,气压作用在膜片 1 的

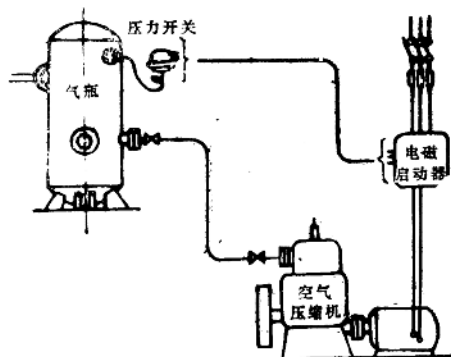


图 2-1 空气压缩机自动控制系统组成

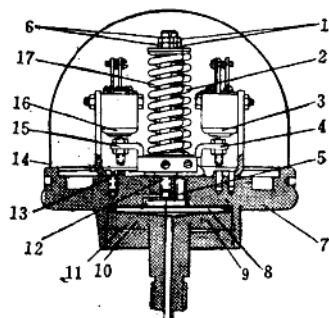


图 2-2 压力继电器结构图

1、6—给定螺帽; 2、17—平衡弹簧; 3、16—微动开关; 4、15—杠杆; 5—顶柱; 7—主体; 8—膜片; 9—管道接头; 10—压紧圈; 11—圆盘; 12—杆; 13—支架; 14—盖。

下面。膜片上有小圆板2，圆板通过顶柱3可以克服弹簧4的预紧力，使杠杆5顶动微动开关9。微动开关中有一个弹簧片6，它被顶起一个微小距离后，能很快地使触点切换，就是使原来7、6间接通的状态变成8、6间接通。触点7称常闭触点，触点8称为常开触点。当压力升高到触点切换后，常开的闭合，常闭的断开。切换压力取决于弹簧4的预紧力。当作用在小圆板下面的气体总压力大于弹簧预紧力时，小圆板被顶起，引起微动开关的切换。预紧力可用给定螺帽调整。在整个继电器中有两套上述机构。通过预紧力的调正，我们可以使一个微动开关在较高压力时切换(用作使空气压缩机停车)，另一个微动开关在较低压力时切换(用作启动空气压缩机)。

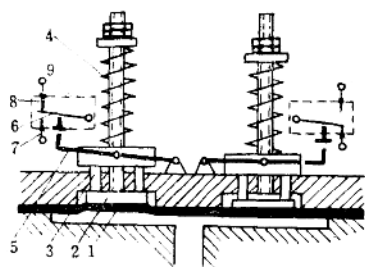


图2-3 压力继电器工作原理图

1—膜片；2—小圆板；3—顶柱；4—弹簧；5—杠杆；6—弹簧片；7、8—触点；9—微动开关。

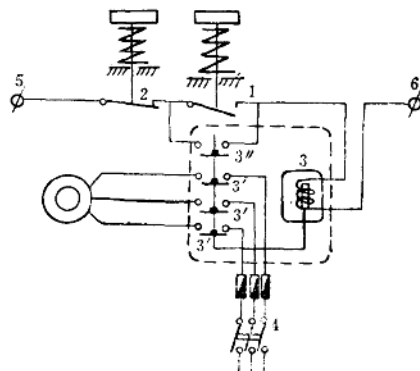


图2-4 空气压缩机自动启、停电路示意图

图2-4为空气压缩机自动启停电路示意图。其中1和2分别代表低压和高压微动开关的常闭触点，3为电磁启动器的接触器，4为电源闸刀。

(一) 自动启动

当气瓶中压力低于允许最低值时，例如： $1.96 \times 10^6 \text{ Pa}$ (即 20 kgf/cm^2)，此时低、高压触点1和2都闭合。控制电源接在5、6间，所以控制电流通过接触器的线圈3，产生吸力使启动器的三对主触点3'闭合，电动机电源接通，空气压缩机启动。

(二) 自锁

当空气压缩机启动并向气瓶充气，使气瓶中气压超出 $1.96 \times 10^6 \text{ Pa}$ 时，低压触点1就会断开，空压机停车。稍一耗气，气瓶压力又低于 $1.96 \times 10^6 \text{ Pa}$ ，空气压缩机重新启动。这样造成空气压缩机反复频繁启停。使控制元件容易损坏，也使空气压缩机寿命降低。为了克服空气压缩机的频繁启停，就在接触器上加一附加触点3"。当线圈3通电时，3"与主触点3'同时闭合。由于3"同低压触点1并联，故当触点1断开时，线圈3仍通电，空气压缩机继续向气瓶充气。这就是自锁作用(或称自保持作用)。

(三) 自动停车

当气瓶压力升高到最高要求值时，例如： $2.94 \times 10^6 \text{ Pa}$ (即 30 kgf/cm^2) 时，高压触点2断开，使接触器3的线圈断电，主触点3'和附加触点3"都断开，空气压缩机因电源切断而停车。可以看出，为了使高压触点能起停车作用，它必须与自锁触点3"和低压触点1串联。

(四) 空气压缩机重新启动

空气压缩机停车后, 当气瓶压力降至低于 $2.94 \times 10^6 \text{ Pa}$ (即 30 kgf/cm^2) 时, 高压触点 2 闭合, 但因低压触点 1 仍断开, 自锁触点 3 已断开, 线圈 3 电路仍不通, 故空气压缩机不会启动。直到压力低于 $1.96 \times 10^6 \text{ Pa}$ (即 20 kgf/cm^2) 时, 低压触点 1 又闭合, 于是重复上述(一)和(二)的步骤。

从上述分析可以看出, 在采用双位控制的情况下, 被控参数总在高、低限之间变动。若要使气瓶中气压变动幅度减小, 可以调整高、低限, 使它们接近。在船上高、低限的选定是根据各船的实际情况和船员的习惯而有所不同。但高、低限不能十分接近, 否则的话, 空气压缩机将频繁启停。因此双位控制常用在允许被控参数有较大幅度变动的场合。

以上介绍的是空气压缩机自动启停的基本原理, 而实际的空气压缩机自动启动电路中, 还要考虑启动卸荷, 疏水泄放手、自动切换以及安全保护等问题。

二、具有一个双位元件的船用压力继电器

前面介绍的一种压力继电器是用两个双位元件分别完成高限与低限时的切换功能。而有些双位控制器仅用一个双位元件即可完成这些功能。下面再介绍一种仅用一个双位元件的船用压力继电器。这种继电器在船上广泛用于压力水柜的液位控制, 及动力管系的油、水压力报警系统。其结构原理见图 2-5(a)。

压力由引压管传入波纹管盒。波纹管盒的中心杆顶在继电器内的杠杆的一端, 杠杆的另一端由定值弹簧拉着。杠杆上还有一个拨片, 用来拨动开关。当压力由零上升, 波纹管作用在杠杆上的力矩逐渐增大, 直到此力矩大于定值弹簧作用在杠杆上的力矩时, 杠杆才开始转动, 并通过拨片带动开关。由于开关在结构上做成当拨片移到中间又稍过头一点的位置时, 开关才会切换, 因此杠杆刚开始转动时, 开关并不切换。而当杠杆稍转动一点后, 它的另一端就碰到差动弹簧上的小顶头。差动弹簧有一定的预紧力, 故杠杆上又作用了差动弹簧力矩, 它与定值弹簧力矩方向相同。杠杆就暂不继续转动。当压力继续上升到更高的压力 p_1 时, 波纹管力矩就足以克服定值弹簧与差动弹簧的合力矩, 而使杠杆继续转动, 拨片使开关切换。图 2-5(b) 上开关位置由 1 切换到 2。当压力下降到 p_1 以下时, 杠杆反转, 但同样暂时不会使开关复位 (切换回去)。而在杠杆稍转动一些以后, 小顶头就会脱离杠杆。此时杠杆一端仅作用着定值弹簧力矩。克服不了波纹管子力矩, 所以杠杆暂停转动。直到压力下降到波纹管子力矩小于定值弹簧力矩时才使杠杆继续转动, 于是开关复位, 这时的压力为 p_2 。图 2-5(b) 上的开关位置由 3 换成 4。可见两次切换的压力不一样, 它们间差了

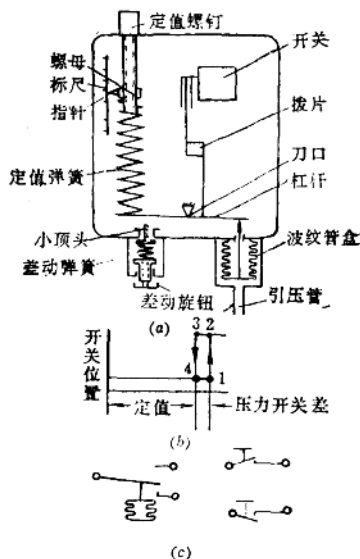


图 2-5 具有一个双位元件的压力继电器

一个所谓差动值(也叫开关差) $\Delta p = p_1 - p_2$ 。差动值可用差动旋钮进行调整, 给定值可用定值螺钉调整。这种压力继电器的特点, 只要把它的常开触点与启动电机的接触器线圈串联, 而不必用自锁触点即可实现电机的自动启停。

三、浮子式液位继电器

在辅助锅炉的水位调节、冷却水膨胀水柜的自动补水和舱底水自动排出等控制系统中, 常使用直接测量液位的液位继电器。

图2-6是浮子式液位继电器工作原理图。它是由相互隔离的浮子组和触头组两部分组成。浮子组中有浮子1、扇形杠杆2、轴3、上、下定位销钉4和磁钢5组成; 触头组由磁钢6、静触头7、动触头8和轴9组成。

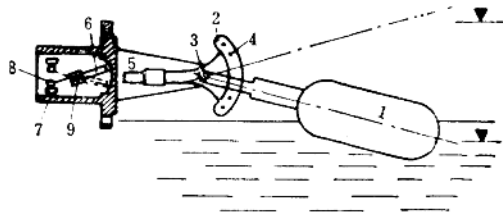


图2-6 浮子式液位继电器

1—浮子; 2—扇形杠杆; 3—轴; 4—定位销钉; 5、6—磁钢;
7—静触头; 8—动触头; 9—轴。

当液面上升至上限液位时, 直接与所测液面相接触的浮子1绕轴3跟着上升并与扇形杠杆2上装有上定位销钉4 (在扇形杠杆上有四对定位销钉孔, 可按要求控制液位的范围进行选择) 相碰, 并带动扇形杠杆同时绕轴3逆时针转动, 使与扇形杠杆连在一起的磁钢5向下移动, 由于磁钢5

和6互相靠近端是同极性磁极, 因而排斥磁铁6, 使它绕轴9逆时针转动, 使触头8与7断开。若控制的是锅炉水位, 那末就切断水泵电源开关, 停止向锅炉供水。

当液位下降到低限液位时, 浮子向下并压下定位销钉4, 使扇形杠杆绕轴3顺时针转动, 磁钢5向上, 并排斥磁钢6使之向下, 触头8与触头7接触, 电路接通, 水泵启动, 重新向锅炉供水。

此液位继电器可通过改变上、下二定位销钉相对位置或更换浮子连杆, 即借改变连杆长度的办法, 可使液位的上、下限范围在25~500mm内进行有效调整。

上面介绍的各例中, 都是有触点的电磁继电器, 这是一种存在很久, 应用经验成熟的控制元件, 目前还在广泛使用。随着电子技术的迅速发展, 较新的晶体管开关电路也在逐步推广。

§ 2-2 直接式调节器

上节所介绍的双位控制, 其调节作用是间断的, 且被控参数在较大范围内反复变动。当不允许上述情况时, 应采用调节作用是连续的调节器。

如果调节器的动作不依靠外来能源, 此种调节器称直接式调节器。这是一种简单的调节器, 一般不需要较多的日常维护工作, 使用维护的技术要求低, 因此仍在船上得到使用。

直接式调节器按用途可分为压力、温度、液位、转速等调节器。本节先介绍减压阀和调温阀。