

船员适任培训与航海教育专业核心课程统一教材 // 轮机工程技术 ▶

轮机自动化

(操作级) ■

交通运输部海事局组织编写

主编单位

大连海洋大学
青岛远洋船员职业学院
重庆交通大学
宁波大学
日照航海工程职业学院

人民交通出版社股份有限公司

北 京

图书在版编目(CIP)数据

轮机自动化/交通运输部海事局组织编写. —北京 :
人民交通出版社股份有限公司, 2022. 7

ISBN 978-7-114-17977-8

I. ①轮… II. ①交… III. ①轮机—自动化—职业教
育—教材 IV. ①U664. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2022)第 103353 号

Lunji Zidonghua

书 名: 轮机自动化

著 作 者: 交通运输部海事局

责任编辑: 杨 川

责任校对: 越媛媛 龙 雪

责任印制: 刘高彤

出版发行: 人民交通出版社股份有限公司

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.chinasybook.com>

销售电话: (010)64981400, 59757915

总 经 销: 北京交实文化发展有限公司

印 刷: 北京印匠彩色印刷有限公司

开 本: 787 × 1092 1/16

印 张: 20.25

字 数: 478 千

版 次: 2022 年 7 月 第 1 版

印 次: 2022 年 7 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-17977-8

定 价: 75.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

编审人员名单

理论知识编写组

主 编:隋江华(大连海洋大学)

何宏康(重庆交通大学)

张 刚(宁波大学)

副主编:严浪涛(重庆交通大学)

苑仁民(山东交通学院)

林叶春(上海海事大学)

教学实训编写组

主 编:李永鹏(青岛远洋船员职业学院)

于风卫(青岛远洋船员职业学院)

吴 俊(江苏海事职业技术学院)

副主编:卢冠钟(浙江交通职业技术学院)

杨何伍(广州航海学院)

高兴斌(青岛远洋船员职业学院)

情景实操编写组

主 编:孔德璐(日照航海工程职业学院)

陈祥光(天津海运职业学院)

谭阳辉(天津理工大学)

副主编:熊正华(四川交通职业技术学院)

欧国鹏(渤海大学)

刘 磊(天津海运职业学院)

主 审:张桂臣(上海海事大学)

参 编:郑 桔 王爱军 刘 雨 宗许宁

关于本套教材

一、本套教材编写特点

1. 体例创新,以“用”带学

2021年10月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》,文件中明确提出了要“改进教学内容与教材”。依据这一文件精神,结合航海职业教育改革要求和航海专业课程教学创新要求,本套教材将航海业务进行了“情境化”处理,以“操作要点”这一“用”为中心,将航海业务中需掌握的必备知识、相关知识进行整合、优化,将学生的学习场景带入到实际工作的情境中来,明确学生的学习任务,增加学生学习兴趣,提升学生实践能力。

2. 结构新颖,利于掌握

本套教材由若干个教学情境构成,这些情境完全按照生产实际和岗位需求来设计。每个教学情境又包含了“情境导读”“必备知识”“操作要点”等内容,每个“必备知识”/“操作要点”通过【解释】【相关知识】【经验指导】等栏目逐层递进,最大程度上利于学生对这些知识和技能的吸收和掌握。

【解释】通过设置一系列醒目的小标题(带有●记号的标题),对“必备知识”/“操作要点”的内容进行详细讲解、说明。

【相关知识】对与该“必备知识”/“操作要点”相关的知识点、关键词、公式、术语等作扼要的说明。

【经验指导】对与“必备知识”/“操作要点”有关的实际应用知识进行提示、指导,向读者传授航海实际作业经验。

3. 课证融通,学以致用

依据《高等职业学校轮机工程技术专业教学标准》中教学内容要求进行编写,以各种场景“操作要点”为主线,辅以必会的理论知识、经验指导和典型案例等,符合航海类专业的“课证融通”职业教育特点,实现理论和实践的有机融合。

二、本套教材使用方法

1. 教学情境的使用方法

本套教材设立了若干个教学情境,每个教学情境下的“必备知识”/“操作要点”,均是航海专业必须掌握的重点知识,也是《高等职业学校轮机工程技术专业教学标准》要求的重点教学内容,这些重点内容,在实际操作时能够给航海专业人员带来很多参考和帮助。带有●记号的标题是本套教材对于“必备知识”/“操作要点”所提炼出的关键词,它能直接扼要地表明在航海专业中应注意的知识要点和应掌握的技能要点。

2. “热题库”自主学习系统的使用

本套教材配套了“热题库”自主学习系统,学生可以通过微信[扫一扫],扫描下方二维码进入该系统。



“热题库”自主学习系统是一款满足学生课前预习、课后复习的基于微信公众号平台的配合专业课程教学和学习的系统。该系统根据学生自主学习的特点,在功能上设置了“新题练习”“热题研习”“熟题重温”“错题重做”“机编模拟”和“典型试卷”六大功能,在内容上又开发了“互动教材”和“经典习题”,“互动教材”作为课前预习的内容与教师课堂教学相呼应,“经典习题”作为课后复习的内容满足学生学习巩固的需要。另外,本系统还可以由教师组建班级,学生加入到“我的班级”,可以使老师实时了解学生的学习动态和课堂教学效果。

“热题库”自主学习系统的使用方法如下:

- (1)使用微信[扫一扫]扫描上方的二维码,关注公众号。
 - (2)点击公众号下方菜单中的“练·热题”进入。
 - (3)点击“更多考试”,选择想要学习的科目进入。
 - (4)当点击任意模块出现收费界面时,可以选择“输入激活码”,刮开图书封底的激活码涂层,在激活码页面输入激活码,即可免费使用。
- (本激活码也可以激活公众号下的其他科目,一经激活,本码作废,请谨慎使用)

3. 课堂互动教学系统的使用

本套教材配套了课堂互动教学系统,该系统由后台管理(教师使用)和课堂前端(师生共用)两部分组成。

(1) 后台管理(教师使用)的注册和使用

教师通过关注“水运书摘”微信公众号,点击下方“练·热题”进入首页,点击下方“公号档案”功能区中的“教师注册”,刮开由人民交通出版社股份有限公司发放的“教师邀请卡”上的涂层,在“教师注册”页面输入激活码,即可进入“教师工作区”。教师还可以在“教师注册”页面采用“手机短信激活”的方式进行注册,具体方式如下:输入“教师姓名”、选择“所在学校”,并用手机接收验证码并输入后,完成注册。教师通过点击“教师工作区”中的“教师信息”可以获得后台管理(教师使用)的登录名和密码,使用电脑端的IE浏览器输入网址:“<https://retiku.cn/manager/jtclick.html>”,输入登录名和密码,即可进入课堂教学互动系统的后台管理。在后台管理中,教师可在“PPT课件”中下载获取相应教材的配套课件,还可从“课件管理”和“共享课件”中编辑和生成自己的互动课件,共享自己认为满意的互动课件给同行教师。

(2) 课堂前端(师生共用)的使用

课堂前端(师生共用)包括一套互动教学设备,教师通过该设备调取后台管理中教师自

主编辑生成的互动课件,用于课堂教学。学生通过答题器与教师产生互动。教师通过使用该系统,一方面,可以实时了解学生的课堂学习动态,不断调整教学重点;另一方面,还可以调动学生课堂听课的积极性,提高学生的课堂学习效率。

三、“案例进课堂”资源获取

为了着力推行产教融合的职业教育模式,统筹规划课程体系与教材建设,强化立体化数字资源建设,本书同步推出了“案例进课堂”资源库,实现了教学模式上的创新,便于教师授课和学生扩展知识的学习。

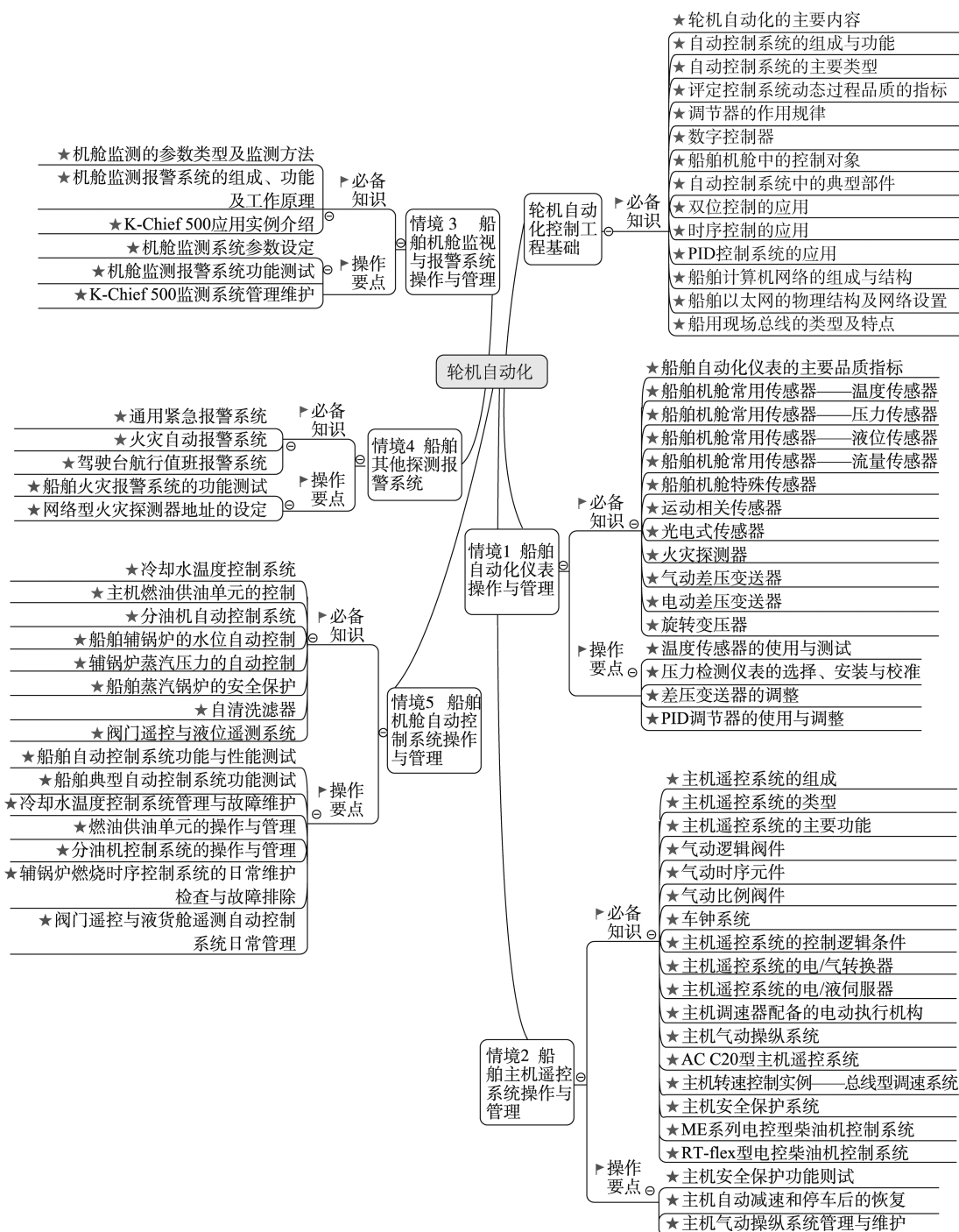
“案例进课堂”资源库可以通过以下方式获取:

Windows 系统的电脑客户端,可通过 IE 浏览器,输入以下网址:

<http://www.chinasybook.com/tas.zip>

进行下载安装(下载文件中含说明书)。

本书导读



《轮机自动化》知识导图

前言

2020年12月,船员考试管理改革工作会议在深圳召开,交通运输部海事局就启动船员适任培训统一教材编写工作作了部署。

2021年6月,交通运输部海事局在人民交通出版社股份有限公司召开集中办公会议,研讨船员适任培训统一教材编写思路,明确了“用什么、教什么、考什么”的教材建设原则。明确要以《中华人民共和国海船船员适任考试和发证规则》《海船船员培训大纲(2021版)》为依据,兼顾《高等职业学校航海技术专业教学标准》《高等职业学校轮机工程技术专业教学标准》,既要满足船员适任培训实际需求,也要服务航海职业教育改革国家战略。

为了众筹各方智慧,妥善做好教材建设的具体工作,2021年6月,部海事局发布了《交通运输部海事局关于征集操作级船员适任培训教材编写人员的通知》,启动教材编审人员征集工作,得到来自航海本科、高职高专院校老师和航运企事业单位专家的广泛响应,有力支持了统一教材编审人员的遴选工作。

2021年10月,中共中央办公厅、国务院办公厅印发了《关于推动现代职业教育高质量发展的意见》,结合交通运输部等六部委联合发布的《关于加强高素质船员队伍建设的指导意见》,统一教材建设既要契合国家对职业教育改革的愿景目标,也要满足行业打造合格产业劳动者大军对培训考试方式的改革诉求,教材建设需要从内容上、形式上和功能上进行系统性创新。

本套教材在内容上,力求知识满足实际需求,实现航海职业教育知识体系与船员适任培训场景的融合与孪生,实现案例进课堂;在表现形式上,以情境设计为导向,突出知识与实操的关联性,实现纸质教材与数字教材的相互融合;在功能上,以数字教材为基础,配套课堂教学互动课件和满足课前预习、课后复习需求的“题库”自主学习系统等教学工具,寓教于问、寓学于答。

此外,正在行业推广应用的“船员岗位培训与评估系统”,可为航海新技术、新设备、新法规等方面的知识反哺与更新建立有效机制。

按照编写人员专业特点,本套教材各科目编写组分为理论知识、情境实操和教学实训三个单元。

本套教材包括船舶管理、海上货物运输、航海学(船舶定位与导航)、航海学(航海仪器操作)、航海学(气象观测与分析)、船舶操纵、船舶值班与避碰、航海英语、船舶管理(含机舱资源管理)、船舶主推进动力装置、船舶辅机、船舶电气、轮机自动化、轮机维护与修理、轮机英语15门课程。

在教材编审过程中,得到了航海教育培训研究分委会、各直属海事局、各航海院校、相关航运企事业单位和人民交通出版社股份有限公司的关心和支持,在此一并表示感谢。

交通运输部海事局
2022年7月

目录

轮机自动化控制工程基础	1
必备知识 1: 轮机自动化的主要内容	2
必备知识 2: 自动控制系统的组成与功能	4
必备知识 3: 自动控制系统的主要类型	7
必备知识 4: 评定控制系统动态过程品质的指标	9
必备知识 5: 调节器的作用规律	12
必备知识 6: 数字控制器	17
必备知识 7: 船舶机舱中的控制对象	23
必备知识 8: 自动控制系统中的典型部件	27
必备知识 9: 双位控制的应用	32
必备知识 10: 时序控制的应用	37
必备知识 11: PID 控制系统的应用	44
必备知识 12: 船舶计算机网络的组成与结构	50
必备知识 13: 船舶以太网的物理结构及网络设置	54
必备知识 14: 船用现场总线的类型及特点	57
情境 1 船舶自动化仪表操作与管理	61
必备知识 1: 船舶自动化仪表的主要品质指标	62
必备知识 2: 船舶机舱常用传感器——温度传感器	65
必备知识 3: 船舶机舱常用传感器——压力传感器	68
必备知识 4: 船舶机舱常用传感器——液位传感器	71
必备知识 5: 船舶机舱常用传感器——流量传感器	74
必备知识 6: 船舶机舱特殊传感器	76
必备知识 7: 运动相关传感器	82
必备知识 8: 光电式传感器	88
必备知识 9: 火灾探测器	98
必备知识 10: 气动差压变送器	102
必备知识 11: 电动差压变送器	109
必备知识 12: 旋转变压器	111
操作要点 13: 温度传感器的使用与测试	113
操作要点 14: 压力检测仪器的选择、安装与校准	117
操作要点 15: 差压变送器的调整	122

	操作要点 16:PID 调节器的使用与调整	124
情境 2	船舶主机遥控系统操作与管理	130
	必备知识 1:主机遥控系统的组成	131
	必备知识 2:主机遥控系统的类型	134
	必备知识 3:主机遥控系统的主要功能	136
	必备知识 4:气动逻辑阀件	143
	必备知识 5:气动时序元件	147
	必备知识 6:气动比例阀件	149
	必备知识 7:车钟系统	151
	必备知识 8:主机遥控系统的控制逻辑条件	155
	必备知识 9:主机遥控系统的电/气转换器	162
	必备知识 10:主机遥控系统的电/液伺服器	164
	必备知识 11:主机调速器配备的电动执行机构	167
	必备知识 12:主机气动操纵系统	171
	必备知识 13:AC C20 型主机遥控系统	178
	必备知识 14:主机转速控制实例——总线型调速系统	184
	必备知识 15:主机安全保护系统	189
	必备知识 16:ME 系列电控型柴油机控制系统	191
	必备知识 17:RT-flex 型电控柴油机控制系统	197
	操作要点 18:主机安全保护功能测试	202
	操作要点 19:主机自动减速和停车后的恢复	204
	操作要点 20:主机气动操纵系统管理与维护	209
情境 3	船舶机舱监视与报警系统操作与管理	211
	必备知识 1:机舱监测的参数类型及监测方法	212
	必备知识 2:机舱监测报警系统的组成、功能及工作原理	214
	必备知识 3:K-Chief500 应用实例介绍	218
	操作要点 4:机舱监测系统参数设定	227
	操作要点 5:机舱监测报警系统功能测试	229
	操作要点 6:K-Chief500 监测系统管理维护	231
情境 4	船舶其他探测报警系统	234
	必备知识 1:通用紧急报警系统	235
	必备知识 2:火灾自动报警系统	236
	必备知识 3:驾驶台航行值班报警系统	244
	操作要点 4:船舶火灾报警系统的功能测试	245
	操作要点 5:网络型火灾探测器地址的设定	246

情境 5 船舶机舱自动控制系统操作与管理	247
必备知识 1:冷却水温度控制系统	248
必备知识 2:主机燃油供油单元的控制	251
必备知识 3:分油机自动控制系统	258
必备知识 4:船舶辅锅炉的水位自动控制	271
必备知识 5:辅锅炉蒸汽压力的自动控制	274
必备知识 6:船舶蒸汽锅炉的安全保护	278
必备知识 7:自清洗滤器	280
必备知识 8:阀门遥控与液位遥测系统	283
操作要点 9:船舶自动控制系统功能与性能测试	285
操作要点 10:船舶典型自动控制系统功能测试	288
操作要点 11:冷却水温度控制系统管理与故障维护	294
操作要点 12:燃油供油单元的操作与管理	296
操作要点 13:分油机控制系统的操作与管理	298
操作要点 14:辅锅炉燃烧时序控制系统的日常维护检查与故障排除	301
操作要点 15:阀门遥控与液货舱遥测自动控制系统日常管理	304
参考文献	306

轮机自动化控制工程基础

内容导读

自动控制是指在没有人直接参与情况下，利用外加设备或装置（控制装置），使机器、设备或生产过程（控制对象）的某个工作状态或参数（被控量）按照预定的规律自动运行。轮机自动化主要包括机舱动力设备及系统的自动监视与控制，是船舶自动化的重要内容，也是船舶智能化的必要条件。

通过学习本内容，了解轮机自动化的主要内容，了解自动控制的原理和方法；了解比例、积分、微分作用的实现方法；了解各种控制对象；了解船舶计算机网络相关知识；熟悉常用的自动控制方法及其实现方法，如双位控制、时序控制、比例积分微分（PID）控制等；熟悉控制器的设定值、输入值、偏差和输出值/被控量；熟悉自动控制系统中典型部件的工作原理。



必备知识 **1** : 轮机自动化的主要内容

要 点

轮机自动化主要包括机舱动力设备及系统的自动监测与控制,是船舶自动化的重要内容,也是船舶智能化的必要条件。

解 释

● 参数自动控制(反馈控制)

参数自动控制的任務是对机舱中主要设备的运行参数进行自动控制,使它们能始终处在设定值上或一定区间范围。机舱中所要控制的参数很多,包括温度、压力、液位、黏度、柴油机转速,以及电站的电压和频率等。大多数运行参数设定值在控制过程中保持恒定,如柴油机气缸冷却水温度、锅炉的液位和蒸汽压力、柴油机的燃油黏度等。但也有些参数的设定值在控制过程中要求按照规定的程序有规律地变化或根据实际需要而随机设定。因此,参数自动控制可分为定值控制、程序控制、随动控制。

● 逻辑控制

(1) 逻辑控制基本概念

逻辑控制是指控制系统按照预定的组合逻辑程序或时序逻辑程序自动地完成某种(或某些)特定的逻辑动作。例如,交流异步电动机的星形—三角形起动、柴油发电机自动起停、主机起停及换向操纵、辅锅炉自动点火、分油机自动排渣控制、自动开关和自动切换。逻辑控制可分为逻辑判断控制和逻辑时序控制。

(2) 自动开关和自动切换

自动开关是指对某些机电设备进行起停控制。例如空气压缩机根据空气瓶压力进行自动起停,当空气瓶内压力低于下限值时,自动起动空压机向空气瓶充气;当空气瓶内压力达到上限值时,自动停止空压机的工作。自动切换是指某些设备在运行中发生故障时,能自动起动备用机组并使之投入工作,同时故障设备停机。自动开关和自动切换属于典型的逻辑控制。

● 远距离控制

一般把离开机旁对机器设备进行远程操纵称为远距离控制,简称遥控。例如在驾驶台



或集中控制室操纵主机,在集中控制室起动或停止发电机、锅炉、舱底水泵、压载泵,或对各种管路系统的阀门进行远距离开启和关闭等。对机器设备的遥控,特别是对柴油机的遥控,不仅仅是操纵地点的改变或对机旁操纵装置进行简单的机械延伸。以柴油机为例,从发送操车指令到主机运行状态的改变,其间有一套较复杂的包含参数与逻辑控制的系统,以确保准确、安全和可靠地遥控主机。

● 集中监测和报警

自动化机舱中所有设备的运行状态及运行参数都要送到集中控制室,并通过操纵台上的各种仪表、指示灯及电脑显示器等显示。如有参数越限、机器设备运行失常或机舱火灾,都应发出声光报警信号。报警信号还应延伸到驾驶台、轮机长和值班轮机员舱室及全船公共场所。故障打印机应能自动打印故障时间和故障内容,以便存档、备查。在正常运行期间,监测与报警系统还应定时自动打印机舱中所有的运行参数。

随着船舶智能化的发展,在监测与报警的基础上,集中监测和报警系统必将融合数据分析、故障诊断、视情维护预警和船岸通信等内容。

● 安全保护与自动消防

安全保护是自动控制系统的必要补充。安全保护系统能在系统或设备运行出现异常时自动采取安全保护措施,以免引起严重事故,以保障设备安全。例如主机排烟温度过高,气缸冷却水温度过高、压力过低,滑油温度过高、压力过低等,除发出声光报警外,安全保护系统应能自动降载,甚至使设备停车,起到保护设备安全的作用。

船舶自动消防是指在船舶发生火灾的情况下能够自动发出火灾报警并起动灭火装置的系统。机舱和船舶的重要部位都设置了各种火灾探测器,当火灾中央处理装置接收到探测器传来的火警信号后,立即发出声光报警,并根据需要起动灭火装置进行灭火,以保障船舶安全。



必备知识 2：自动控制系统的组成与功能

要 点

控制对象、测量单元、调节单元和执行机构是自动控制系统必不可少的四个基本单元。

解 释

● 自动控制系统的结构框图

为了便于分析自动控制系统的工作过程,可把组成自动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元之间的信号传递关系,这样就形成了反馈控制系统的传递方框图,如图 0-1 所示。

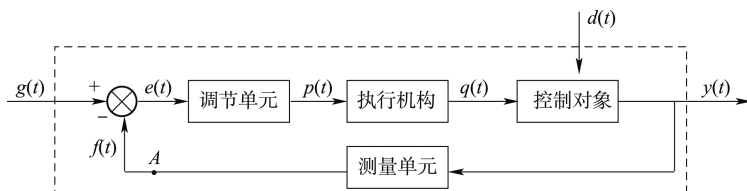


图 0-1 自动控制系统传递方框图

$g(t)$ -设定值; $f(t)$ -测量值; $e(t)$ -偏差值; $y(t)$ -被控量; $p(t)$ -控制量; $q(t)$ -执行量; $d(t)$ -外部扰动值

1. 环节

在控制系统传递方框图中,代表实际单元的每个小方框称为环节。每个环节都有输入量和输出量。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。任何环节输出量的变化均取决于环节特性和输入量的变化,而输出量的变化不会直接影响输入量,这叫信号传递的单向性。另外,如果信号线在某处出现分支,则各个分支的信号具有等值特性。

2. 系统的输入与输出

每个环节有其输入和输出。若从系统的角度来看,将图 0-1 所示的各个环节看作一个整体,如图中的虚框所示,则作为一个整体,控制系统具有两个输入,即设定值和外部扰动,以及一个输出,即被控量。

3. 扰动

控制对象作为反馈控制系统的组成环节,其输出量是被控量,而引起被控量变化的一切因素统称为扰动。显然,扰动量是控制对象的输入量,具体包含两类,即基本扰动和外部扰动。

基本扰动是指来自控制系统内部控制通道(调节通道)的扰动。例如,在水位控制系统中,给水调节阀开度的改变将引起水位的变化;在冷却水温度控制系统中,三通调节阀开度的改变将引起水温的变化。这种扰动通过系统内部的调节通道,改变流入控制对象的物质或能量,从而影响控制对象的输出,称之为基本扰动。因此,基本扰动通过调节通道影响被控量。

外部扰动是指来自系统外部环境的扰动。例如,以锅炉为控制对象的水位控制系统,锅炉负荷(外部用汽量)的变化将引起水位的变化;在柴油机气缸冷却水温度控制系统中,柴油机负荷的变化、海水温度的变化、淡水冷却器中水管结垢的多少等都会引起冷却水温度的变化。这种扰动是由于设备负荷或外界环境的扰动变化导致控制对象内部的物质或能量平衡遭到破坏而影响控制对象的输出,故称之为外部扰动。因此,外部扰动通过扰动通道影响被控量。

在图 0-1 中,执行机构的输出 q 代表基本扰动,控制对象负荷或环境因素的变化 d 代表外部扰动。

4. 反馈

在控制系统传递方框图中,符号“ $\otimes$ ”是一个比较环节(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),它对被控量的设定值 g (旁标“+”号)和测量值 f (旁标“-”号)进行比较,得到偏差值 $e = g - f$,作为调节器的输入值。调节器的输出经执行机构改变流入控制对象的物质或能量,引起被控量的变化(即系统输出变化)。被控量的变化经测量单元又被送回到系统的输入端,这个过程叫反馈,能不断地对被控量的设定值和测量值进行比较。只要存在偏差,调节器就应控制执行机构动作,直到测量值回到设定值或设定值附近为止。调节器的输出基本不变,被控量保持稳定,执行机构的输出正好适应负荷的要求,控制系统达到一个新的平衡状态。

反馈有正反馈和负反馈之分。正反馈是指加强系统输入效应的反馈,它使偏差 e 增大;而负反馈是指减弱系统输入效应的反馈,它使偏差 e 减小。显然,按偏差进行控制的系统必定是一个负反馈控制系统。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,也有部分采用正反馈回路。

● 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。例如,在柴油机气缸冷却水温度自动控制系统中,通常情况下柴油机冷却水出口温度是被控量,冷却器是控制对象,柴油机负荷是冷却水温度变化的干扰因素;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。

● 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,对应被控量的全量程,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,对应被控量的全量程,其统一的标准电流信号是 $0 \sim 10 \text{ mA}$ 或

4~20mA,后者居多。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标准信号。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讯器(参考水位罐)和差压变送器。

● 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送来的被控量测量值,并与被控量的希望值比较,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。

在自动控制系统中,一般把被控量的希望值称为设定值,被控量的设定值与测量值之间的差值称为偏差值。若将被控量的设定值表示为 g ,测量值表示为 f ,偏差值表示为 e ,则有:

$$e = g - f \quad (0-1)$$

若 $e > 0$,则说明测量值小于设定值,称为正偏差;

若 $e < 0$,则说明测量值大于设定值,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、比例、比例积分、比例微分和比例积分微分调节器等。根据控制对象特性及对被控量控制精度要求的不同,可选用不同调节作用规律的调节器。

● 执行机构

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。执行机构施加的影响称为操纵变量,操纵变量就是受调节单元控制,用以克服干扰的影响。在气动控制系统中,常用气动薄膜调节阀或气动活塞式调节阀;在电动控制系统中,一般采用电动执行机构。

以上四个单元是组成自动控制系统必不可少的基本单元。但对于一个完整的控制系统,一般还会有若干辅助单元。例如,用来指示被控量设定值和测量值的指示单元、设定设定值的给定单元等。另外,对气动控制系统来说,还应设有气源装置;对电动控制系统来说,还应有稳压电源等辅助装置。



必备知识 3：自动控制系统的主要类型

要 点

自动控制系统按控制系统结构形式分为闭环控制系统、开环控制系统;按自动控制系统的设定值变动情况分为定值控制系统、随动控制系统和程序控制系统。

解 释

● 按控制系统基本结构形式分类

(1) 闭环控制系统

闭环控制系统是指控制单元与被控对象之间既有前向控制通道又有反馈通道,通过反馈通道使输出量对控制作用有直接影响的控制系统。

闭环控制系统的主要特点:有较高的控制精度和较好的适应能力,有很强的抗干扰能力;但当系统的滞后较大时,控制作用对扰动的克服不够及时,从而使其控制质量大大降低。

(2) 开环控制系统

控制单元与被控对象之间只有前向控制通道而没有反馈通道的控制系统。操纵变量可以通过控制对象去影响被控量,但被控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。开环控制系统主要分为按设定值控制的开环控制系统和按扰动量控制的开环控制系统。

● 按自动控制系统的设定值变动情况分类

(1) 定值控制系统

系统的设定值是恒定不变的,称为定值控制系统。例如,锅炉水位与蒸汽压力控制系统、柴油机气缸冷却水温度控制系统、燃油黏度控制系统、发电机的原动机转速控制系统等都属于定值控制系统。

(2) 随动控制系统

随动控制系统是指系统的设定值是随机变化的,没有规律可言,控制系统的任务是使得被控量按照同样规律变化并与设定值的误差保持在规定的范围内。例如自动舵工作在随动模式,舵角设定值完全取决于当时的航行情况下驾驶人员的操作,事前不能决定,自动舵随动控制系统在一定时间内控制舵角快速跟随舵角设定值,舵角与舵角设定值的误差保持在一定的范围内。

(3) 程序控制系统

系统的设定值是变化的,而且是按事先安排好的规律进行变化的,称为程序控制系统。例如,船舶主机遥控系统中的程序负荷控制,其调速器的设定值就是按预定规律而变化的。

需要注意的是:如果单独提到程序控制系统,它可能指反馈程序控制系统,也可能指逻辑程序控制系统,如分油机的自动排渣控制、锅炉的点火控制均属于后者。

相关知识

● 自动控制系统动态过程

自动控制系统的工作过程可以描述为:当系统处在平衡状态(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,测量单元把被控量的实际值送至调节器,在调节器内部,被控量的设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,调节被控量朝着偏差减少的方向变化。重复上述过程,最终使被控量又回到设定值或设定值附近,系统达到一个新的平衡状态。

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。由于控制器控制规律或系统参数的不同,控制系统的动态过程将表现为不同的形式。图0-2所示为控制系统在受到外部阶跃扰动后可能出现的4种不同情况。图0-2a)所示为振幅不断增加的发散振荡过程,图0-2b)所示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,这是不可接受的。图0-2c)是一个振幅不断减少的衰减振荡过程,而图0-2d)则是一个波峰不断减少的非周期过程。虽然这两种情况均属于稳定的过程,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,在实际中也是不可取的。因此,一个实际可用的控制系统,最起码的要求是其过渡过程为衰减振荡。

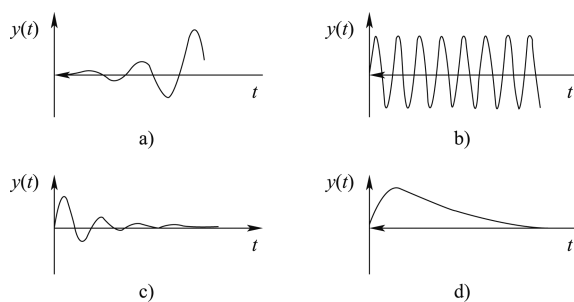


图 0-2 控制系统在受到外部阶跃扰动后的过程曲线



必备知识 4：评定控制系统动态过程品质的指标

要 点

评价一个反馈控制系统的性能,主要从稳定性、准确性和快速性三个方面进行,均有相应的指标参数。

解 释

● 评定控制系统动态过程品质的指标

图 0-3 表示一个定值控制系统施加一个阶跃的外部扰动信号后的动态过程。施加外部干扰 $d(t)$ 后,系统的工作与上述过程类似。图 0-4 表示一个随动控制系统在设定值突然发生改变之后的动态过程。

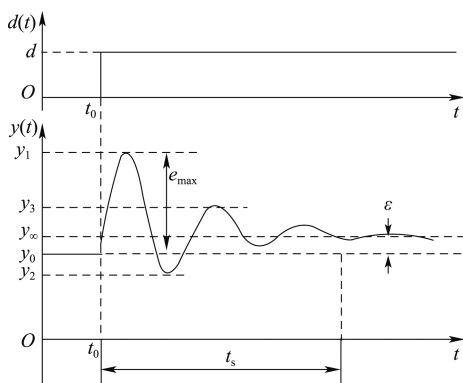


图 0-3 定值控制系统的动态过程

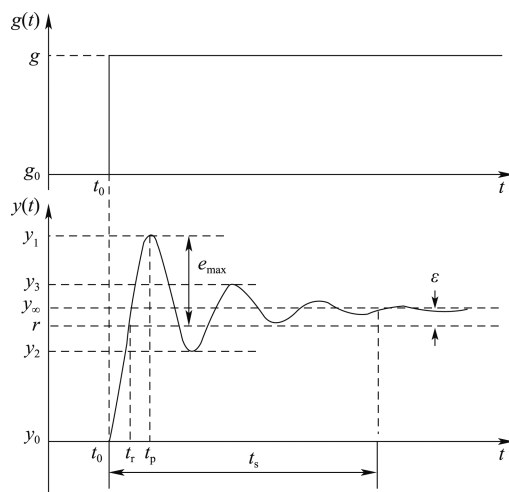


图 0-4 随动控制系统的动态过程

评定控制系统动态过程品质的指标包含以下三个方面:

1. 稳定性指标:衰减率 φ 和振荡次数 N

(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 减去第二个同向波峰值 y_3 除以第一个波峰值 y_1 , 即:

$$\varphi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} \quad (0-2)$$

衰减率 φ 是衡量系统稳定性的指标之一,要求 $\varphi = 0.75 \sim 0.9$ 。当 $\varphi = 0.75$ 时, $y_1 - y_\infty$ 是 $y_3 - y_\infty$ 的 4 倍,此时衰减比 4:1。 φ 不能小于 0.75,过小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。当 $\varphi < 0$ 时,将出现发散振荡过程。

(2) 振荡次数 N

振荡次数 N 是指在衰减振荡中,被控量的周期性变化的次数,通常一个周期计算一次。一般要求被控量振荡 2~3 次就应该稳定下来。

2. 精确性指标:最大动态偏差 $e_{\max}$ 和静态偏差 ε

(1) 最大动态偏差 $e_{\max}$

最大动态偏差 $e_{\max}$ 是指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。从控制准确性上,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,过渡过程时间加长。

(2) 静态偏差 ε

静态偏差 ε 是指动态过程结束后,被控量新稳态值与设定值之间的差值。 ε 越小,说明控制系统的静态精度越高。在实际控制系统中,由于所使用的调节器作用规律不同,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设定值上,只能稳定在设定值附近,存在一个较小的静态偏差,即 $\varepsilon \neq 0$,称为有差调节。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设定值上,即 $\varepsilon = 0$,称为无差调节。

(3) 超调量 σ_p

对于随动控制系统,通常用超调量 σ_p 来衡量其动态精度。超调量是指在衰减振荡中,第一个波峰值 y_1 减去新稳态值 y_∞ 与新稳态值 y_∞ 之比的百分数:

$$\sigma_p = \frac{y_1 - |y_\infty|}{|y_\infty|} \times 100\% \quad (0-3)$$

对随动控制系统中, σ_p 太大,说明被控量偏离设定值太远,为了保证调节的稳定性和准确性,一般要求 $\sigma_p < 30\%$ 。

3. 快速性指标:过渡过程时间 t_s 、上升时间 t_r 和峰值时间 t_p

(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:

$$\frac{|y(t) - y_\infty|}{|y_\infty|} \leq \delta \quad (0-4)$$

式中: $y(t)$ ——系统受到扰动后,在时间为 t 时的被控量值;

y_∞ ——被控量的最终稳态值;

δ ——选定的任意小的值,一般取 $\delta = 0.02$ 或 $\delta = 0.05$ 。

式(0-4)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_∞ 的一定误差范围内(如 2% 或 5%),即可认为过渡过程已经结束。

在讨论随动控制系统时,通常还用上升时间 t_r 和峰值时间 t_p 。

(2) 上升时间 t_r

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_∞ 所需时间。

(3) 峰值时间 t_p

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_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。



必备知识 5：调节器的作用规律

要 点

调节器对控制系统的动态过程品质起着决定性的影响。调节器的输入是被控量和设定值之间的偏差值 $e(t)$ ，调节器的输出是控制量，控制执行机构的动作。调节器的作用规律是指输出量 $p(t)$ 与输入量 $e(t)$ 之间的函数关系，可以使用阶跃响应来判断，也就是说给调节器施加一个输入阶跃的偏差信号后，其输出量的变化规律。在船舶机舱中常用的调节器作用规律有：双位作用规律、比例(P)作用规律、比例积分(PI)作用规律、比例微分(PD)作用规律、比例积分微分(PID)作用规律等。

解 释

● 双位作用规律

双位作用规律的特点是，对应被控量的高限 $y_{\max}$ 和低限 $y_{\min}$ ，调节器只有两个输出状态（逻辑0和逻辑1），如图0-5所示。这种作用规律不能使被控量稳定在某个值上，而是使被控量在上限和下限之间上下波动。当被控量下降到下限值时，调节器的输出通过执行机构使被控量上升，到达上限值时，调节器的输出状态改变，被控量下降，如此周而复始。当被控量在上、下限之间变化时，调节器输出状态不变。

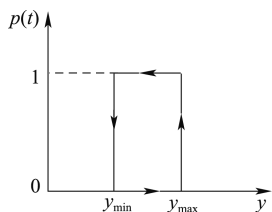


图 1-5 双位作用规律

● 比例(P)作用规律

比例(P)作用规律是指调节器的输出量 $p(t)$ 与输入量 $e(t)$ 成比例变化，即：

$$p(t) = Ke(t) \quad (0-5)$$

式中： K ——比例系数。

K 越大，在输入相同的偏差 $e(t)$ 时，调节器输出量 $p(t)$ 也越大，比例作用越强。反之， K 越小，比例作用越弱。比例作用规律开环阶跃响应特性如图0-6所示。

(1) 比例(P)作用规律的特点

比例(P)作用规律的优点是，调节阀的开度能及时地反映控制对象负荷的大小。负荷变化大，偏差 $e(t)$ 就大，调节阀开度能

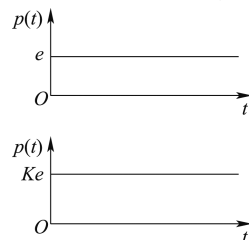


图 0-6 比例作用规律开环阶跃响应特性

够及时地成比例变化,对被控量控制及时。但是,比例作用规律存在的缺点也是明显的。当控制对象受到扰动后,在比例调节器的控制作用下,被控量不能完全回到设定值上,只能恢复到设定值附近。被控量的稳态值与设定值之间必定存在一个较小的静态偏差,这是比例作用存在的固有的、不可克服的缺点。

比例(P)作用规律中, K 越大,稳态时静态偏差越小,反之亦然。但能通过无限制地增加比例系数的方法来达到消除静态偏差的目的,当比例系数达到一定程度时将导致系统发生振荡。比例控制系统虽然存在静态偏差,但这个偏差值不大,与自平衡对象受到扰动后,靠自平衡能力使被控量自行稳定在新稳态值上的变化量相比较要小得多,动态过程进行也要快得多。因此,比例调节器广泛应用于对被控量稳态精度要求不高的场合。

(2) 比例带 PB

比例带 PB 是指调节器的相对输入量与相对输出量之比的百分数:

$$PB(\delta) = \frac{\frac{e}{p_{\max}}}{\frac{p}{e}} \times 100\% = \frac{e_{\max}}{p} \times 100\% = \frac{R}{K} \times 100\% \quad (0-6)$$

式中: R ——量程系数, $R = \frac{p_{\max}}{e_{\max}}$ 。

比例带 PB 的物理意义可以这样理解,即假定调节器指挥执行机构变化全行程(例如调节阀从全关到全开或从全开到全关),需要被控量的变化量占其全量程的百分数即为比例带。例如 $PB = 100\%$,说明被控量变化全量程的 100% ,调节器将指挥执行机构变化全行程的 100% 。若 $PB = 50\%$,说明只需被控量变化全量程的一半,调节器就能使调节阀开度变化全行程。若 $PB = 200\%$,则说明被控量变化了全量程,调节阀的开度只变化了全行程的一半。由此可见,比例带 PB 越小,在被控量偏差占全量程百分数相同的情况下,调节器的输出变化也越大,克服扰动能力越强,比例作用也就越强;反之,比例带 PB 越大,比例作用越弱。比例带是比例作用规律极为重要的参数,当组成控制系统的控制对象确定以后,比例带 PB 的大小,对控制系统动态过程品质好坏起着决定性的影响。若 PB 选得太大,比例作用很弱,克服扰动的能力就弱;动态过程虽然很稳定,没有波动,但最大动态偏差 $e_{\max}$ 也大,过渡过程时间 t_s 或许会拖得很长,稳态时静态偏差 ε 也比较大。若 PB 选得太小,比例作用很强,稍微出现一点偏差就会使执行机构的动作大幅度变化,容易造成被控量的大起大落,系统的稳定性变差。同时,也会加长过渡过程时间 t_s 。因此,对一个实际控制系统来说,要根据控制对象的特性,调定合适的比例带 PB,以保证一个控制系统具有最佳的动态过程。在一般情况下,控制对象惯性大的控制系统,可使比例带 PB 小一点,如温度、黏度等控制系统,其控制对象惯性比较大,可选定 $PB = 50\%$ 左右。反之,对于控制对象惯性小的控制系统,比例带可适当选定大一点,如液位控制系统,其控制对象惯性都较小,可选定 $PB = 70\% \sim 80\%$ 。

● 比例积分(PI)作用规律

比例积分(PI)作用规律是指调节器的输出量随输入量成比例积分变化,采用这种作用规律的调节器称为比例积分调节器,简称 PI 调节器。

1. 积分(I)作用规律

积分作用规律是指调节器的输出与输入的积分成比例,也就是说调节器是一个积分单

元,即:

$$p(t) = S_0 \int e(t) dt \quad (0-7)$$

式中: S_0 ——积分系数。

可以看出,积分输出取决于偏差 $e(t)$ 的大小和偏差存在时间的长短,只要存在偏差,偏差随时间的积累就不能停止,调节器输出 $p(t)$ 就会发生变化。只有当偏差等于0时,执行机构才能稳定在某一位置不再变化,所以积分作用规律具有消除静态偏差的能力,这是积分作用规律的突出优点。但是,与比例作用规律相比较,积分作用规律对被控量的控制显得不及时。在刚开始的时候,由于时间很短,调节器的输出也很小,只有随着偏差存在的时间不断增长,积分作用的输出才越来越大,导致调节器对被控量的控制不及时。在偏差减少时,这种控制不及时表现为不能及时减少使执行机构的动作幅度,从而导致调节过头,造成被控量的大起大落,降低了控制系统的稳定性。在实际控制系统中,极少采用纯积分作用的调节器,而是将积分作用与比例作用相结合,形成比例积分作用规律,即PI调节器。

2. 比例积分(PI)作用规律

比例积分作用是指在比例作用的基础上加入积分作用而得到的一种作用规律,即:

$$p(t) = Ke(t) + S_0 \int e(t) dt = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt \right] \quad (0-8)$$

式中: K ——PI调节器的比例系数, $T_i = K/S_0$ 称为积分时间。

在PI调节器中,比例作用能使调节器的输出及时响应偏差的变化,起着主导作用,而积分作用是辅助的,只是用它来消除静态偏差。

衡量比例积分作用强弱的参数有两个(比例带PB和积分时间 T_i):比例带是衡量比例作用强弱的参数,对于标准仪表,其值是比例系数的倒数,比例带增大,比例作用减弱,反之则增强;积分时间是衡量积分作用强弱的参数,它具有时间的量纲(秒或分)。当积分时间缩短,则积分作用增强;反之,积分作用减弱。

假定给比例积分调节器施加一个阶跃的输入偏差信号,则:

$$p(t) = K \left(e + \frac{1}{T_i} \int e dt \right) = K \left(e + \frac{e}{T_i} t \right) = Ke \left(1 + \frac{t}{T_i} \right) \quad (0-9)$$

其中,比例作用把输入量 e 放大到 K 倍得阶跃输出 Ke 。积分输出与时间 t 保持线性关系,其斜率为 Ke/T_i 。据此,可画出比例积分作用规律的开环阶跃输出特性曲线,如图0-7所示。

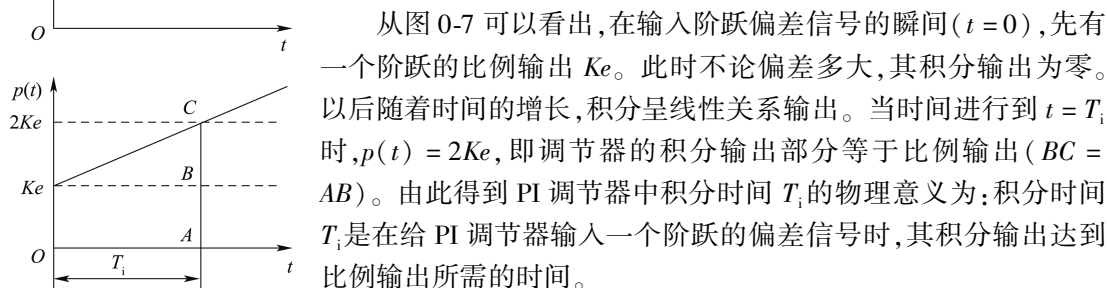


图0-7 比例积分调节器阶跃响应特性

从图0-7可以看出,在输入阶跃偏差信号的瞬间($t=0$),先有一个阶跃的比例输出 Ke 。此时不论偏差多大,其积分输出为零。以后随着时间的增长,积分呈线性关系输出。当时间进行到 $t=T_i$ 时, $p(t)=2Ke$,即调节器的积分输出部分等于比例输出($BC=AB$)。由此得到PI调节器中积分时间 T_i 的物理意义为:积分时间 T_i 是在给PI调节器输入一个阶跃的偏差信号时,其积分输出达到比例输出所需的时间。

在PI调节器上设有两个旋钮,一个用于整定比例带PB,另一个用于整定积分时间 T_i 。 T_i 的整定一定要合适,既要能保证控制

系统稳定性的要求,又要能在较短的时间内使系统消除静态偏差。在整定 T_i 值时,切忌把 T_i 值整定得太小,否则由于积分作用太强,将导致系统的稳定性变差。如果不能准确地对 T_i 值进行整定,那么选取 T_i 时,可以采用宁大勿小的策略。积分时间 T_i 的整定范围一般在 3s 至 20min 之内。控制对象惯性大的控制系统,选取 T_i 值要大一些。

在比例积分调节器中,如果把积分时间 T_i 设定到 ∞ ,则相当于切除积分作用,而成为纯比例调节器。若要加入积分作用(其 T_i 不是 ∞),则此时的比例带 PB 要比纯比例作用时略大一些,以抵制由于积分作用的加入而产生的系统动态过程振荡倾向。比例积分调节器是在实际控制系统中应用最广泛的一种调节器。

● 微分(D)与比例微分(PD)作用规律

1. 微分(D)作用规律

微分作用规律是指调节器的内部采用了一个微分环节,其输出与偏差对时间的微分 $de(t)/dt$,即偏差变化速度成比例,表达式为:

$$p(t) = S_d \frac{de(t)}{dt} \quad (0-10)$$

式中: S_d ——微分系数。

微分作用的输出与偏差的绝对值没有关系,取决于偏差的变化速度,因此能在偏差绝对值还很小时,提前输出一个较大控制量,超前动作抵御扰动。从这个意义上说,微分作用具有超前控制的能力,或者说微分作用有抵制偏差出现的能力。上述表达式表示的是理想的微分作用,但这种理想的微分作用在实际中由于调节机构的滞后作用,难以实现。因此,在调节器中,微分作用都采用实际微分环节。给实际微分环节施加一个阶跃的偏差输入信号后,它先有一个较大的阶跃输出,起到超前控制作用,尽管偏差依然存在,但微分输出随即按指数规律逐渐减少,最后消失为零。显然,微分作用不能单独应用于调节器并构成控制系统,它只能与比例(P)作用或比例积分(PI)作用结合在一起,组成比例微分(PD)调节器或比例积分微分(PID)调节器。

2. 比例微分(PD)作用规律

比例微分(PD)作用是指在比例作用的基础上加入微分作用而得到的一种作用规律,即:

$$p(t) = Ke(t) + S_d \frac{de(t)}{dt} = K \left[e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (0-11)$$

式中: K ——比例微分作用规律中的比例系数, $T_d = S_d/K$,称为微分时间。

在比例微分(PD)作用规律中,比例作用是主要的,它决定调节器的最终输出变化量。微分作用只起超前控制的辅助作用。比例微分调节器输出特性如图 0-8 所示。给 PD 调节器施加一个阶跃的偏差输入信号后,它首先有一个阶跃的比例加微分的复合输出,然后微分输出逐渐消失,最后消失的比例输出上。微分时间 T_d 衡量微分输出消失的快慢,或微分输出保留时间的长短。若 T_d 大,说明微分作用消失慢,则微分作用强;若 T_d 小,说明微分作用消失快,则微

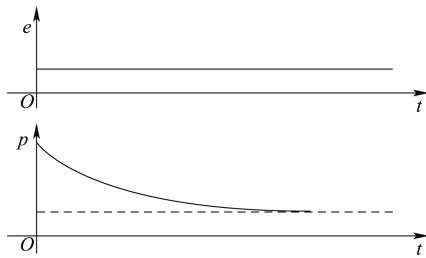


图 0-8 比例微分调节器输出特性

分作用弱。因此,微分时间 T_d 的大小,是衡量微分作用强弱的参数。

在 PD 调节器上有两个旋钮,一个是比例带 PB 调整旋钮,另一个是微分时间 T_d 调整旋钮。如果把微分时间旋钮调整到 $T_d = 0$,相当于切除微分作用,这时调节器就成为纯比例调节器。一般来说,控制对象惯性很小的控制系统,其所采用的调节器不加微分作用。而控制对象惯性大的控制系统,加入微分作用,可以有效地改善控制系统的动态过程。在 PD 调节器中,加进微分作用后,其比例带 PB 可比纯比例控制时略小些。因为微分作用能实现超前控制,具有抵制偏差出现的能力,尽管 PB 小一些,也能保证系统动态过程的稳定性,而且较小的 PB 有利于减小静态偏差。

● 比例积分微分(PID)作用规律

将比例、积分和微分作用组合在一起,则构成比例积分微分作用规律,即 PID 作用规律。在 PID 作用规律中,仍以比例作用为主,吸收了积分作用能消除静态偏差、微分作用能实现超前控制的优点,功能最为完善。基于这种作用规律的调节器称为比例积分微分(PID)调节器。PID 作用规律输出与输入之间关系为:

$$P = Ke(t) + S_0 \int e(t) dt + S_d \frac{de(t)}{dt} = K \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (0-12)$$

式中: K ——比例系数;

T_i ——积分时间;

T_d ——微分时间。

K 、 T_i 和 T_d 的大小与相应的作用强度之间的关系与 PI 和 PD 调节器相同。

若给 PID 调节器输入一个阶跃的偏差信号,并记录其输出响应,则可得 PID 调节器的开环阶跃响应输出特性曲线,如图 0-9 所示。输出特性曲线表明,当对调节器施加一个阶跃的偏差输入信号后,它首先有一个较大的比例加微分的阶跃输出,然后微分输出逐渐消失。

传统的 PID 调节器都有三个旋钮,分别用于整定比例带 PB、积分时间 T_i 和微分时间 T_d

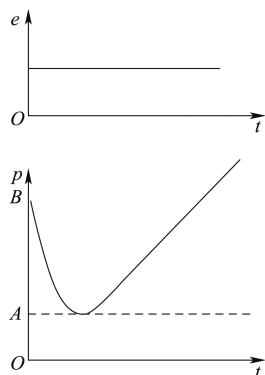


图 0-9 PID 调节器输出特性

三个参数,只要把 PB、 T_i 和 T_d 三个参数整定合适,控制系统就能获得良好的动态过程品质。在实际使用中,可根据具体的需要将 PID 调节器用作 P、PI、PD 和 PID 调节器。例如把积分时间整定为 $T_i \rightarrow \infty$,或把微分时间整定为 $T_d = 0$,则相当于切除积分或微分作用,成为纯比例作用调节器、PI 调节器或 PD 调节器。对于 PID 调节器,往往把积分时间 T_i 整定得比微分时间 T_d 长,它们之间的关系大致为 $T_i = 4T_d \sim 5T_d$ 。加进微分作用后,原来整定的比例带 PB 和积分时间 T_i 都可以减小一点,这样既能减小最大动态偏差,保证系统的稳定性,又能加快系统的反应速度,使过渡过程时间 t_s 进一步缩短。



必备知识 6：数字控制器

要 点

目前在船舶机舱中,越来越多的参数控制系统都采用微型计算机进行控制。在微机控制系统中,调节器的作用规律是采用软件编程来实现的,称为调节器作用规律的数字实现。数字式控制仪表相对于模拟式仪表在功能、可靠性等方面有很大优势,因而在工业生产过程的控制和管理方面,得到了越来越广泛的应用。

解 释

● 单片机控制器

单片机控制器是基于单片机的芯片及其他电子元器件与控制外部电路的集成 PCB 板组合在一起的控制器。单片机主要包含中央处理器 CPU、只读存储器 ROM 和随机存储器 RAM 等,多样化数据采集与控制系统能够让单片机完成各项复杂的运算,无论是对运算符号进行控制,还是对系统下达运算指令,都能通过单片机完成。单片机控制器结构框图如图 0-10 所示。

单片机 CPU 包括运算器、控制器、主要寄存器(累加器 A、数据寄存器 DR、指令寄存器 IR 和指令译码器 ID、程序计数器 PC、地址寄存器 AR)。单片机 CPU 指定的地址,从 ROM 相应单元中取出指令字节放在指令寄存器中寄存,然后,指令寄存器中的指令代码被译码器译成各种形式的控制信号,这些信号与单片机时钟振荡器产生的时钟脉冲在定时与控制电路中相结合,形成按一定时间节拍变化的电平和时钟,即所谓控制信息,在 CPU 内部协调寄存器之间的数据传输、运算等操作。要单片机执行一个程序,就必须把该程序按顺序预先装入存储器 ROM 的某个区域。单片机动作时应按顺序一条一条地取出指令来加以执行。因此,必须有一个电路能找出指令所在的单元地址,该电路就是程序计数器 PC。当单片机开始执行程序时,给 PC 装入第一条指令所在地址,它每取出一条指令(如为多字节指令,则每取出一个指令字节),PC 的内容就自动加 1,以指向下一条指令的地址,使指令能顺序执行。只有当程序遇到转移指令、子程序调用指令,或遇到中断时,PC 才转到所需要的地方去。

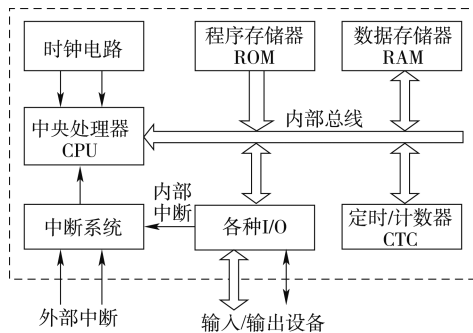


图 0-10 单片机控制器结构框图

单片机的发展先后经历了4位、8位、16位和32位等阶段。8位单片机由于功能强,被广泛用于工业控制、智能接口、仪器仪表等各个领域。Intel公司推出的8位MCS-51系列单片机,其逻辑部件包括一个8位CPU及片内振荡器;存储器:掩膜ROM、EPROM、RAM;定时器/计数器T0及T1;并行I/O接口:P0、P1、P2、P3;串行接口:TXD、RXD;中断系统:INT0、INT1。

单片机的硬件特征如下:

(1)单片机的体积比较小,内部芯片作为计算机系统,其结构简单,但是功能完善,使用起来十分方便,可以模块化应用。

(2)单片机有着较高的集成度,可靠性比较高,即使单片机处于长时间的工作也不会存在故障问题。

(3)单片机在应用时所需电压小、能耗低,为工业生产与技术研发提供便利。

(4)单片机对数据的处理能力和运算能力较强,可以在各种环境中应用,且有着较强的控制能力。

● 可编程序控制器(PLC)

可编程序控制器(PLC)实质上是一种专用的计算机控制系统,具有比一般计算机更强的接口,编程语言更适用于控制要求。可编程序控制器与一般的计算机控制系统一样,也具有中央处理单元(CPU)、存储器、输入/输出单元(I/O单元)、通信接口和电源等,其结构框图如图0-11所示。

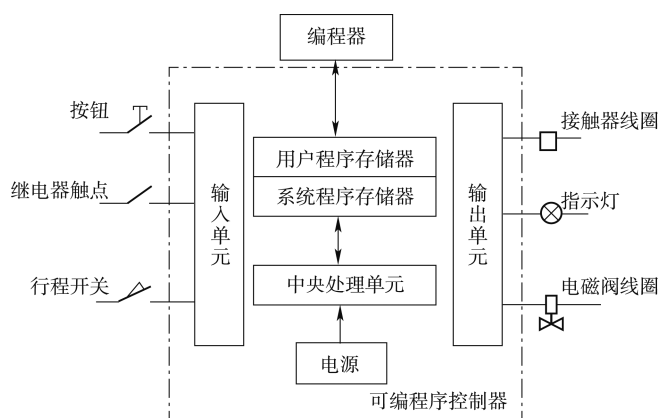


图 0-11 可编程序控制器基本结构框图

(1) 中央处理单元(CPU)

PLC的硬件是一种模块式的结构,核心部件是中央处理单元(CPU)。整个可编程序控制器的工作过程都是在CPU的统一指挥和协调下进行的。其主要任务是,按一定的规律或要求读入被控对象的各种工作状态,然后根据用户所编制的应用程序的要求去处理有关数据,最后再向被控制对象送出相应的控制信号,与被控对象之间的联系是通过各种I/O接口实现的。

可编程序控制器的中央处理单元与一般计算机系统CPU概念不同,后者常用CPU表示一个中央处理器,是一块集成芯片。而在一个可编程序控制器中指的是中央处理模块,不仅有CPU集成芯片(可能不止一片),还有一定数量的EPROM(存储系统的操作系统)和

RAM(存储少量的数据或用户程序)等。可编程序控制器的 CPU 模块完成下述各项工作:

- ①接收用户从编程器输入的用户程序,并将它们存入用户存储区;
- ②用扫描方式接收源自被控对象的状态信号,并存入相应的数据区;
- ③检查用户程序的语法错误,并给出错误信息;
- ④系统状态及电源系统的监测;
- ⑤执行用户程序,完成各种数据的处理、传输和存储等功能;
- ⑥根据数据处理的结果,刷新输出状态表,以实现对各种外部设备的实时控制和其他辅助工作(如显示和打印等)。

(2) 存储器

可编程序控制器的存储器分为两种:系统程序存储器和用户程序存储器。系统程序存储器存放系统管理程序,用户程序存储器存储用户程序。常用的存储器有 RAM 和 EPROM、EEPROM。RAM 是一种可进行读写操作的随机存储,存放用户程序,生成用户数据区,存放在 RAM 中的用户程序可以方便地修改,为防止 RAM 中存放的程序和数据在断电时丢失,可用锂电池作后备电源。EPROM 和 EEPROM 都是只读存储器,往往用这些类型存储器固化系统管理程序和用户程序。

(3) 输入/输出单元(I/O 单元)

实际生产过程中的信号电平是多种多样的,外部执行机构所需的电平也千差万别,而可编程序控制器的 CPU 所处理的信号电平只能是标准电平,因此需要通过 I/O 单元实现这些电平的转换。I/O 单元实际上是 PLC 与被控对象间传递输入输出信号的接口部件。I/O 单元有良好的光电隔离和滤波作用。

接到 PLC 输入接口的输入器件是各种开关、按钮、传感器等。PLC 的各种输出控制器件一般是电磁阀、接触器、继电器。

(4) 通信接口与智能 I/O 接口

①通信接口。实现“人-机”过程或“机-机”对话,通过通信接口可以与监视器打印机、其他可编程序控制器和计算机等相连。当与打印机相连时,可将过程信息、系统参数等输出打印;当与监视器相连时,可将过程图像显示出来,它既可以显示静态图像,也可以显示动态图像,它与其他可编程序控制器相连时,可组成多级控制系统,实现过程控制、数据采集等功能。使用通信接口,使可编程序控制器与外围设备的连接能力进一步加强,从而也丰富了可编程序控制器的各种功能。

②智能 I/O 接口。为满足更加复杂的控制功能的需要,可编程序控制器配有许多智能 I/O 接口。为满足模拟量闭环控制的需要,配有闭环控制模板。为了对频率超过 100Hz 的脉冲进行计数和处理,配有高速计数模板,还有其他一些智能模板。所有这些智能模板都带有其自己的处理器系统。可编程序控制器的总线多为基板形式。无论电源模板、CPU 模板、各种输入输出模板都可插入这个基板上的相应位置,基板上各相应位置之间通过印刷电路板实现电气连接。

(5) 电源

可编程序控制器的电源有的选用市电,也有很大一部分用 24V 直流电源供电。PLC 内有稳压电源用于对 PLC 的 CPU 单元和 I/O 单元供电,而小型的 PLC 电源通常和 CPU 合为一体,大中型 PLC 都有专门的电源模块。另外,根据可编程序控制器的规模及所允许扩展接

口板数,各种可编程序控制器的电源种类和容量常常是不同的,轮机人员在使用和维修时应注意这一点。

(6) 外围设备

PLC 的外围设备主要有编程器、文本显示器、操作面板、人机界面和打印机等。编程器是一种手持设备,也是 PLC 最重要的外围设备。小型 PLC 常使用简易型编程器,大中型 PLC 多用智能型。

对 PLC 的编程有两种方法:一是采用上述的编程器进行编程,但由于编程器体积小,所能显示的信息有限,适用于编程人员或管理人员在生产现场对 PLC 进行管理维护;另一种方法是采用 PC 机编程界面,在个人计算机上接入适当硬件,安装软件包,并通过编程电缆与 PLC 的通信接口相连,即可在 PC 机上对 PLC 编程。

编程器或编程界面有两种工作方式,即编程工作方式和监控工作方式。编程工作方式的主要功能是输入新的控制程序,或者对已有的程序进行编辑。监控工作方式是对运行中的可编程序控制器的工作状态进行监视和跟踪。

PLC 有开关量、模拟量的输入和输出,还有一些特殊的信号输入和输出,可以满足各种工况的需要。很多厂家 PLC 内部配有 PID 程序,用户也可根据自己的需要,自己编程实现 PID 调节控制。PLC 可对一个系统实现逻辑、运算、PID、保护等控制,抗干扰能力强、外围扩展方便、内部功能函数又较丰富、使用灵活方便,可满足一个系统的总体需要,经常应用在船舶辅机系统的控制中。

● 微机控制器

微机控制器是在微型计算机硬件系统的基础上配置必要的外部设备和软件构成的控制器。微型计算机系统从全局到局部存在三个层次:微型计算机系统、微型计算机、微处理器(CPU)。单纯的微处理器和单纯的微型计算机都不能独立工作,只有包括了微型计算机系统才是完整的信息处理系统,才具有实用意义。

微型计算机系统包括硬件系统和软件系统两大部分。硬件系统由运算器、控制器、存储器(含内存、外存和缓存)、各种输入输出设备组成,采用“指令驱动”方式工作。软件系统可分为系统软件和应用软件。系统软件是指管理、监控和维护计算机资源(包括硬件和软件)的软件。它主要包括:操作系统、各种语言处理程序、数据库管理系统以及各种工具软件等。其中,操作系统是系统软件的核心,用户只有通过操作系统才能完成对计算机的各种操作。应用软件是为某种应用目的而编制的计算机程序,如文字处理软件、图形图像处理软件、网络通信软件、各种程序包等。

在工业中应用较广泛的微机控制器是工业控制计算机和嵌入式计算机。

工业控制计算机是一种采用总线结构,对生产过程及其机电设备、工艺装备进行检测与控制的计算机系统总称,简称工控机。它由计算机和过程输入/输出(I/O)两大部分组成。计算机由主机、输入/输出设备和外部磁盘机、磁带机等组成。在计算机外部又增加一部分过程输入/输出通道,用来将工业生产过程的检测数据送入计算机进行处理;另一方面,将计算机要行使对生产过程控制的命令、信息转换成工业控制对象的控制变量信号,再送往工业控制对象的控制器中,由控制器行使对生产设备的运行控制。

嵌入式计算机即嵌入式系统,是一种以应用为中心、以微处理器为基础,软硬件可裁剪

的,适应应用系统对功能、可靠性、成本、体积、功耗等综合性严格要求的专用计算机系统。它一般由嵌入式微处理器、外围硬件设备、嵌入式操作系统及用户的应用程序四个部分组成。嵌入式计算机种类繁多、形态多种多样。嵌入式系统几乎包括了生活中的所有电气设备,如自动售货机、消费电子设备、工业自动化仪表与医疗仪器等。

微机控制器的特点是体积小、灵活性大、价格便宜、使用方便。同样的硬件设备情况下,安装不同的应用软件,可以实现不同的功能。

相关知识

● 与控制器相关的信号

1. 设定值

设定值是希望被控参数应该处于的值,如定值控制系统中的冷却水温度、燃油黏度、柴油机转速等,一般可通过控制器内的数字设定、外围的电位器信号、上位监控计算机的通信获得。但是有些随动控制系统的设定值随机变化,往往需要结合人体美学要求和实际感受进行设计,其设定机构会做成具象性的外形,如操舵轮、主机车钟、锚机控制主令等,但其内部还是通过电位器或编码器给出模拟量或数字量信号给控制器。

常用的电位器如图 0-12 所示,有四个端子,其中上下两头的端子接稳压电源,为输入信号提供电源信号,而中间的固定接点往往接到系统的参考点 COM(0V)上,输出信号随机机构动作在电位器上滑动输出不同的电压信号。中间固定接点的作用是为保证该主令的信号,即使出现电源断线情况,其输出信号还是安全有效的,避免断线造成输出信号变成最大或最小,保证设定信号的安全可靠。

2. 输入值

控制器的输入值往往就是传感器检测到的被控对象的被控参数值,常称为反馈值。有的是标准的 4~20mA,或 0~5V 电信号,有的是自定义的参数值,先进的传感器还带通信功能。控制器根据使用的传感器情况,设有专用的 Pt100 或热电偶传感器输入,可直接采集传感器信号,而不需要中间的信号变换单元,如冷却水温度控制常用的热电阻传感器。

为使控制精度达到要求,控制器往往只取信号中最有效的部分。如为控制发电机频率,需要对发动机的转速予以控制,而发动机的转速范围较大,如果使用该范围,调速器或频率控制的精度就比较难达到。处理后的信号以额定转速的 $\pm 10\%$ 为量程,其他的做偏高或偏低处理,这样控制器内 A/D 转换的精度对应的实际转速变化就比较准确和快速。

传感器输出信号应该有一定的合理范围,在出现极端信号时,基本上可以确认传感器出现故障,对应的控制器需要实时判断传感器的故障。

3. 偏差值

偏差值是设定值与输入值的差值,其值为零是控制器追求的目标。但是偏差信号会因给定、输入反馈值的干扰而出故障,控制器根据该信号进行调节时,需要考虑其可靠性和准确性的协调。

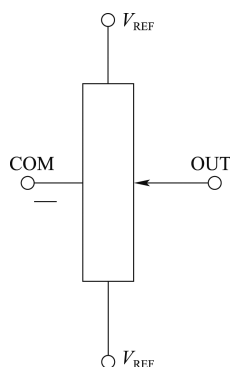


图 0-12 电位器接线图

4. 输出值

控制器的输出是给执行环节的控制信号,通常是模拟量信号,作为执行器的输入,对应的是执行器的输出信号,如开度、角度等;有的采用非传统的模拟量信号,如脉宽调制信号 PWM 去控制执行机构,直接控制其输出量,执行机构总体上为比例环节;有的也采用增加、停止、减小的三个开关量信号,控制执行伺服电机,此时伺服机构的输出变化受控制器的控制,执行机构本身为积分环节。

5. 被控量

被控量是指被控对象内要求实现自动控制的物理量,使用的传感器应对应需要控制的点,即安装在需要被控制的场所。测量单元得到的信号通常用于控制和显示,有的还单独作为保护使用。在用作控制时,该信号被称为反馈量,送给控制器,并与设定值进行比较,从而得到偏差值。这个信号尤其需要有较强的抗干扰能力,避免对控制性能产生不利的干扰影响。