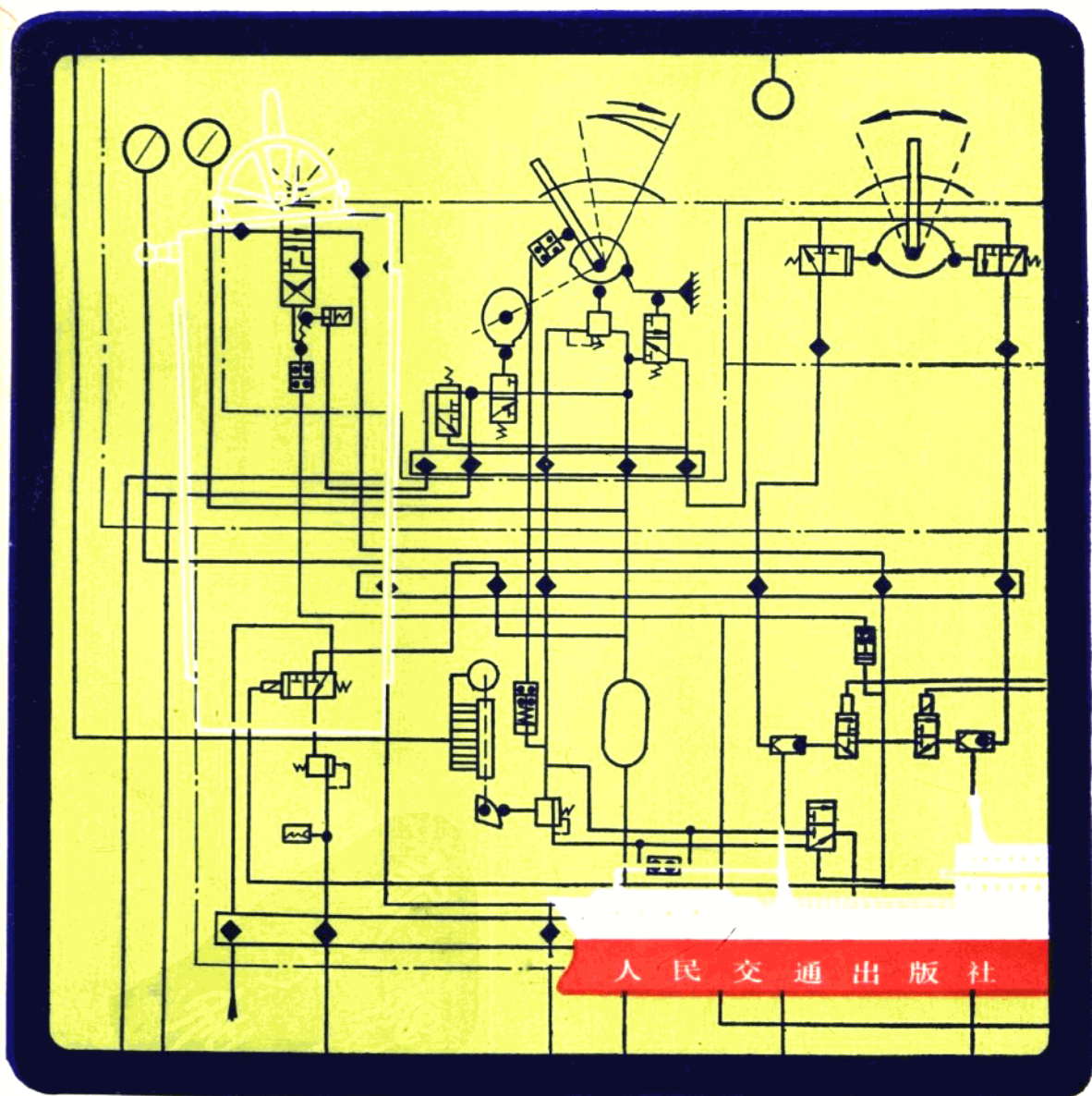


轮机自动化

大连海运学院轮机自动化教研室 浦宝康 赵兴贤 主编



人民交通出版社

轮 机 自 动 化

大连海运学院轮机自动化教研室 浦宝康 赵兴贤 主编

人 民 交 通 出 版 社

内 容 提 要

本书主要从国内外远洋船舶的实际出发,着重介绍轮机自动化的基本理论和应用。

全书共分三篇十七章。第一篇为反馈控制,内容包括反馈控制的基本概念和调节作用规律,船用气动和电动调节仪表,常用的控制系统,如柴油机冷却水温度、燃油粘度、锅炉给水和燃烧控制系统。第二篇为顺序控制,内容包括顺序控制基础知识,顺序控制元件和主要的顺序控制系统,如柴油机主机遥控、辅锅炉燃烧时序控制和分油机自动排渣控制等。第三篇为集中监视,内容包括各种参数的检测,报警系统,车钟自动记录和巡回检测等。最后,还简单地介绍了电子计算机在轮机自动化中的应用。

本书可作为轮机、船机专业(120~140学时)试用教材,也可供轮机管理人员以及修造船厂的技术人员和船舶动力装置专业师生参考。

轮 机 自 动 化

大连海运学院轮机自动化教研室

浦宝康 赵兴贤 主编

人民交通出版社出版、发行

(北京市安定门外和平里)

北京市书刊出版业营业许可证出字第006号

人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 $\frac{1}{16}$ 印张: 20.75 插页: 3 字数: 494千

1980年11月 第1版

1980年11月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—4,400册 定价: 2.20元

前 言

本书是在大连海运学院轮机自动化教研室73年和75年两次编写《轮机自动化》讲义的基础上编写的。

轮机自动化涉及的内容极为广泛，这里不可能把所有的内容都给予详尽的介绍。为此，本书着眼于“基本”和“现代”这两个方面，力求阐明轮机自动化的基本原理（如反馈控制和顺序控制的基础知识）和目前常用的典型控制系统（如主要参数的反馈控制、主机遥控、分油机控制、辅锅炉控制及集中监视等）。同时以“机”“电”结合、“中”“外”结合和“理论”“实践”相结合的原则来指导编写工作。

本书在编写过程中，得到中国远洋运输公司及各分公司、中波轮船公司、各海运局、上海船研所、上海自动化仪表一厂、兄弟院校轮机管理专业有关教研室的支持和协助，谨在此表示感谢。由于编写时间短促，书中难免有不足之处，望广大读者提出批评指正。

本书由浦宝康、朱绍庐、赵兴贤、张德一、贾欣乐、王德源负责编写，最后由浦宝康和赵兴贤主编定稿。全书插图由胡秀琴绘制。

大连海运学院轮机自动化教研室

一九七九年八月

绪 论

一、轮机自动化的发展、目前水平和今后方向

船上采用自动化设备，已有很长的历史。例如，发电机上的调速器，制冷装置中的膨胀阀、温度和压力继电器，舵机的远距离操纵机构等，都是早期的自动化装置，直到现在还一直都在应用。它们对发电机、制冷装置、舵机等正常运行是必不可少的。

此外，象锅炉的给水自动调节器、燃烧自动装置，柴油机的冷却水温度自动调节器，空气压缩机的压力自动开关等，都取得很好的效果；自动火警和自动灭火设备等，在保障船舶安全方面，也有显著成效。但是在本世纪60年代以前的几十年，总的说来，机舱里只有个别的和局部的机组和系统采用自动化技术。

从局部自动化到全面自动化，经历了一段较长的岁月。因为自动化装置也象动力装置一样，要经受航行时船舶的摇摆、震动，机舱里的高温、潮湿等船用条件的考验。有些自动化仪表、器件和装置，在陆地工厂里用得很好，但用于船上就发生问题。另外，由于船舶在航行中，如果自动化设备出了故障，在一般情况下，都要靠船员自己解决。因此，选用船用自动化装置时要特别慎重，只有确实可靠，并具有实效，才可在船上推广使用。即使是这样，反馈控制、远距离操纵等自动装置还没有使“自动”转换成“手动”的技术措施，以备万一自动装置出了故障，可改用手动，以免影响正常运行。

随着自动化装置的设计、制造和管理各方面经验的日趋成熟，单项和局部的自动化也逐渐增多。这样，在60年代初发展了集中监视和控制。它的特点是机舱里设置集中监视屏和控制台，有的还把集中监视屏、控制台设在具有隔音和空调设备的舱室内，只须一个值班人员在这里对机舱的动力装置进行监视和控制。值班的方式方法也有了很大的改变。

图0-0-1是某轮的集中监视、控制台的平面布置。在台上装有各种监视整个动力装置的运行状况的仪表；控制主、辅机的操纵手柄（或手轮）和按钮等。

60年代中期以后，一些主要海运国家的船级社——相当于我国的船舶检验局——已在各自的船舶的入级规程中，增添了有关自动控制、遥控和自动化仪表的章节。这些章节根据自动化装置在船上和机舱中应用的实际效果和管理经验，提出了一般要求。尽管各个国家的具体条文有所不同，但提到的共同性的主要问题大致是：

1. 提出设置自动化装置的一般要求。例如，自动化装置在设计安装时，要考虑到实用、安全，在万一失灵的情况下，不致影响安全运行；主机在驾驶

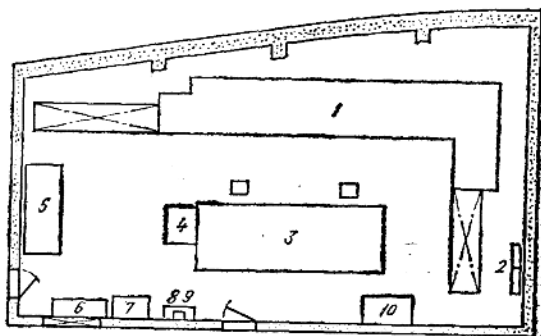


图0-0-1 某轮的集中监视和控制室的平面布置
1-发电机控制屏板；2-配电板；3-集中监视和控制台；4-轮机日志自动记录仪；5-轮机日志自动记录仪控制箱；6-主机遥控气动阀箱；7-主机遥控器控制箱；8-安全保护控制箱；9-主机扫气箱内火警控制箱；10-空调装置

台操纵时，应使其操作方式象通常使用车钟一样便利等。

2.对各种不同类型的船舶和动力装置，提出应设有哪些自动化装置（包括自动化仪表、安全保护和报警等）以及这些自动化装置的安装地点、部位及其功能。

3.明确船级社的职责，以及船级社和船厂、船舶营运机构的关系。例如，船级社有权对自动化装置的设计、制造、安装进行审查和监督；船级社参加制订自动化装置的图纸、工艺，凡属标准设计以外的增减更改，要经船级社的批准。符合“无人机舱”规定的，由船级社承认后，在船舶证书上注明这种承认。

自动化船舶入级的规则，对自动化在船上的应用起了相当的推动作用。

所谓“无人机舱”，简单地说，就是利用自动化设备，代替轮机人员在机舱值班期间的操作管理工作，从而实现在一段时间内——譬如说，8小时、12小时、24小时甚至36小时——机舱里无需轮机人员值班。

轮机人员在值班期间的主要工作，是经常检查和调节整个动力装置的工况参数（即压力、温度、转速、液位等），使它始终保持在正常工况，并把这些工况参数定时记入轮机日志；根据需要，启用分油机、造水机、舱底水泵等辅机；随时接受驾驶台车钟的车令，改变主机的工况（即改变主机转速、回转方向、停车或起动）。

要是机舱里的各种工况参数，都用调节器来代替人工调节；并且定时自动记录各种参数；主机能直接在驾驶台上操纵；辅机出了故障，备用的辅机能立即自动接替；再装设必要的警报系统、当工况参数超过容许范围，应及时通知在机舱外面的轮机人员；在机舱里还安装了火警探测系统和自动灭火系统。如果实现了以上各项，机舱里就没有必要经常有人值班了。例如夜间8小时无人值班是完全可能的。

到了60年代末期，出现了采用电子计算机控制的所谓超自动化船舶。这种船舶的一个显著特点是，超出了机舱自动化的范围，在导航、机舱、货物装卸、报务，甚至医疗等方面实现全面自动化。一般说来，主要有机舱、导航、和舾装三方面。机舱自动化包括：主、辅机的遥控，数据的自动记录和处理，运转情况的集中监视和自动调节，自动分析机器发生故障的原因并提出排除故障的建议，发电机的调压、调频、自动保护，备用发电机的自动起动等。导航自动化包括：确定船位、避碰和选择最佳航线等。舾装自动化包括：货油自动装卸，船体受力状态的监控，冷藏和空调装置的自动化，火灾检测和自动灭火系统等。

最初的超自动化船舶，大多采用一台大型电子计算机，控制以上所述的各个方面。但是目前认为使用多台小型计算机，分别控制机舱、导航，舾装等系统，并有机结合起来的分项控制系统，即第二代控制系统，比较合理。

二、轮机自动化的基本内容

前面提到的“无人机舱”，也就是使值班时的操作管理全部自动化。下面我们以一艘柴油机的机舱为例，说明它所包括的自动化内容。

1.主 机

应能在驾驶台和集中控制室对它进行操纵，不必在主机旁边操纵。

在机舱无人值班的情况下，当发生滑油压力过低，冷却淡水压力过低，推力轴承温度过高等情况，就要根据其严重程度自动降低主机转速或使其停车。

自动加注气缸油和膨胀水箱水位的遥控。

2.发电机

应能在集中控制室内起动或使其停车。

应能在输出电路发生低压、低频等情况下，使备用的发电机自动起动；在滑油压力下降、冷却水温度上升等情况下，该发电机应能自动停车。

当机舱里用作备用的发电机需要起动而起动不起来时，应急发电机应能自动起动。应急发电机在发生超速、滑油压力过低、冷却水温度过高的情况下，应能自动停车。

3. 辅锅炉

应有燃烧自动控制和给水自动控制装置。

在锅炉水位下降到危险水位，风机突然停止转动，炉膛内火焰突然熄灭，以及在燃油温度、压力过低的情况下，应能自动停止供油，以防止锅炉发生严重事故。

4. 各种辅机的自动装置

舵机应能在驾驶台操纵。

空气压缩机、卫生水泵、饮用水泵、燃油和柴油驳运泵应有自动开关，在正常情况下，它们是断续工作的。

各种电动泵，如冷却用海水泵、淡水泵、提供液压的油泵、燃油泵、喷油器的冷却油泵，发电用柴油机的冷却水泵、锅炉给水泵、凸轮轴、增压器等的滑油泵等，通常都是成对的。当其中一台在工作中发生故障时，由自动转换装置使另一台备用泵立即投入工作。

燃油和滑油的分油机应能自动排渣。

主、辅机的滑油、冷却用海水、淡水、冷却用油、锅炉燃油、要进行分油处理的燃油和滑油等应有温度自动调节器。

应有燃油粘度自动调节器。

辅锅炉水位、主机淡水膨胀水箱水位、热水井水位、分油机水箱水位都应有液位自动调节器；燃油沉淀柜和日用柜则应有油位自动调节器。

废气锅炉内多余的蒸汽应能自动放泄，或通过冷凝器凝结。卫生水和饮用水的压力水柜应有压力自动控制，使水柜的压力维持在一定范围内。水泵能自动起动和停止。

滤器应能自动清洗。

污水要经过油水分离器，把污水中的油自动分离出来。

当发电机失压后又重新恢复供电时，与航行有关的轮机设备应能大致按下列次序自行起动：舵机、控制主机用的动力油泵、滑油泵、涡轮增压器滑油泵、凸轮轴滑油泵、燃油泵、喷油器冷却用油泵或水泵、冷却水淡水泵、冷却用海水泵、发电用柴油机的冷却水泵、锅炉给水泵、锅炉水循环泵。

有关发电机的自动控制，如发电机在运行时，电压超过额定值6%或低于额定值10%持续5秒，频率低于额定值5%持续5秒，或是失压，则备用发电机应能自动起动，并发出警报。在备用发电机的电压到达额定电压时，原先运行的发电机的空气断路器就自动跳开，备用的就自动闭合。在这期间，故障如已消除，原先在运行的发电机继续供电，备用的发电机由人工使其停车。

如备用发电机在30秒左右的时间内起动不成，则应急发电机就自动起动。

发电机在运行时，如电流超过额定值10%持续10秒，或频率高于额定值5%持续5秒，则发出警报；在前者的情况下，自动脱扣机构实现过电流保护。

机舱失火检测和报警：机舱和集中控制室要有足够数量的火灾探测报警器，在驾驶台上应有指示失火地点的火警设备。要是电源中断，应发出警报。

火警的声响应和一般的报警有所区分。通常规定火警是断续、短促的警报声；一般的报警是连续的长声。

值班和控制所需设备：在集中控制室内设有主操纵台，在主操纵台上设有：操纵主机的手轮或手柄、操纵发电机的控制按钮，反映整个动力装置工况的各种显示仪表和警报器，有的还有主要动力装置系统的模拟示意图。

报警指示的程序大致如下：对于电动机来说，正常运行时，绿灯亮；正常停车时，绿灯熄灭；正常运行时发生故障，绿灯熄灭、红灯闪光，警报响；按下停响按钮时，警报停响，绿灯仍熄灭，红灯常亮；排除故障后，红灯熄灭。对于压力、温度、液位等参数，在正常情况下，没有显示。发生故障后，红灯闪光、警报响；按下停响按钮时，警报停响，红灯常亮，故障排除后，红灯熄灭。

为了定时记录轮机日志上的各种工况参数，在集中控制室内设置了自动制表的装置，它根据规定的时间间隔（一般为2小时），打印出轮机日志上要求记录的温度、压力、转速等数值。此外，还有所谓召唤显示，就是随时可以按动相应的按钮，由数码管显示要求显示的参数数值和单位。

以上大致介绍了轮机自动化的主要内容，但是有些项目也不是硬性规定的。例如舱底水是否要自动排除，就有不同的看法。舱底水能自动排除，固然有它的优点，但这样一来，油柜或水柜漏出来的油或水就不能及时发现了。因此，也有人并不主张自动排除舱底水，而是安装舱底水水位报警器。当舱底水过多时就发出报警，告诉轮机人员采取措施。

自动化程度到底应达到什么水平，对于具体问题要进行具体分析，要实事求是，讲究实效。

三、自动化的类型

上面这些自动化项目，如果根据它们的功能进行分类，大致可以归纳为以下几类：

1. 反馈控制。也就是参数自动调节，也可称为自动控制。它包括润滑油、冷却水、燃油温度的控制；蒸汽、压缩空气的压力控制；燃油粘度、锅炉水位、发电机转速控制等。它的任务是使工况参数保持恒定。

2. 远距离操纵，简称遥控。它包括在驾驶台操纵舵机和主机，在集中控制室启动或停止发电机，在控制站上控制货油阀、舱底水泵、压载水阀的启闭等。

3. 集中监视和控制。它包括机舱主、辅机运行情况和工况参数的集中显示，参数的越限报警和机舱火警，这种报警，在机舱无人值班时，直通轮机员舱室和公共场所；集中控制主、辅机；定时记录轮机日志、自动记录车钟车令，以及机舱内外的通讯联系等。

4. 自动开关和自动切换。它包括某些泵和辅机正常的断续运行和发生故障时备用泵和辅机的自动接替。例如空气压缩机的自动开关，根据空气瓶内压力的高低，自动控制压缩机；给水泵的自动切换，当运行中的一台泵出了故障，由切换装置使其断开，同时启动备用的一台投入运行。

5. 安全保护。它是自动化必要的补充。当发生不正常情况时，自动采取安全保护措施，以免引起严重事故。例如，锅炉突然熄火或水位过低，它的保护装置就立即截止供油，停止燃烧；主轴承温度过高，保护装置就自动降低主机转速，甚至使其停车。

以上五个方面的自动化技术，各有其本身独特的功能。它们是实现机舱全面自动化的几个主要组成部分，也可以说是从种类繁多的自动化装置中，进行归纳后得出的几个基本内容。

但是，这些基本内容仅仅是自动化在轮机方面的应用。它们是以自动化理论和自动化装置作为基础的。从这个角度出发，自动化也可以说由下列三个部分组成：

1. 自动控制理论。它包括调节作用规律，逻辑回路等。

2. 自动控制工具。它包括由气动、液动和电动元件组成的变送器、调节器、执行机构和顺序控制元件、单元电路、集成电路等。

3. 应用。它包括以上介绍过的五个方面的内容。

四、轮机自动化对管理人员提出的要求

轮机自动化可以减轻值班人员的劳动强度，避免人为的操作差错，减少轮机人员定额，因此，自动化就成为当前轮机科学研究和发展方向之一。

机舱实现自动化后，表面上看来，轮机人员的作用好象减小了。原来要由人来操作的工作，现在可以由自动装置来完成，值班工作变得轻松了。但实际上，对轮机人员提出了更高的要求。除了要掌握动力装置外，还要了解自动化的基本原理，自动装置的结构、动作和性能。自动化系统出了故障，要能找出产生故障的原因，并及时排除。如果故障不能排除，还要知道怎样改为手动操作。

由于电子技术和自动化有着密切关系，要掌握自动化，就要掌握和自动化有关的电子技术。我们一定要学会我们原来不懂的东西，为实现四个现代化作出应有的贡献。

应该指出，自动化的作用往往被一些人过分地夸大了。它被说成可以代替人的劳动，这显然是错误的。实际上，自动化本身是由人的劳动创造出来的。自动化即使发展到了所谓“超自动化”，它也还是按照人的意图来完成预期的任务，它的发展还是要靠人的劳动。人和自动化这一对矛盾，它的主要方面是人，起主导作用的是人的积极性。即使在高度自动化的船上，人的作用还是占首位的。切不可在自动化面前，认为人是无能为力的。以自动灭火为例，在发生火灾时，即使船上有先进的灭火系统，全体船员还必须发挥勇敢、积极的精神，努力抢救，才能保护国家财产，减少损失。人的积极性，即使在自动化高度发展的情况下，也还是首要的，人应当是自动化的主人，而不是相反。自动化永远代替不了人的创造性的劳动（包括思考和钻研）。知识来源于实践，这是人类认识客观事物的规律。

目 录

前 言	
绪 论	1

第一篇 反 馈 控 制

第一章 反馈控制的基本概念	1
第一节 概述	1
第二节 反馈控制系统的控制过程	5
第二章 热工控制对象的动态特性	8
第一节 研究控制对象动态特性的意义	8
第二节 水柜的动态特性、阻力和容积	8
第三节 其它简单控制对象的动态特性	14
第四节 多容控制对象, 容积迟延	17
第五节 纯迟延	19
第六节 没有自平衡特性的单容控制对象	20
第三章 自动调节器的动作规律	21
第一节 双位调节规律	22
第二节 比例调节规律	26
第三节 积分调节规律	34
第四节 比例积分调节规律	39
第五节 微分调节规律	42
第六节 比例积分微分调节规律	46
第四章 反馈控制系统分析的基础知识	47
第一节 拉普拉斯变换	47
第二节 传递函数	50
第三节 环节的基本连接方式	56
第四节 反馈控制系统简介	63
第五节 单回路反馈控制系统参数整定的一般原则	71
第五章 船用控制仪表基础知识	75
第一节 气动仪表元件和部件	77
第二节 气动仪表元件的综合	84
第三节 电动仪表的综合	90
第六章 柴油机冷却水温度控制	93
第一节 气缸冷却水温度控制的方法	94

第二节	直接作用式冷却水温度调节器	94
第三节	间接作用式冷却水温度调节器	96
第四节	温度指示调节仪	97
第七章	燃油粘度控制	105
第一节	VAF 型燃油粘度控制系统	106
第二节	ASKANIA 型燃油粘度自动控制系统简介	112
第八章	锅炉水位控制	114
第一节	概述	114
第二节	某货轮辅锅炉水位控制系统	118
第三节	某油轮辅锅炉水位控制系统	121
第四节	“太平洋”船型辅锅炉水位控制	130
第九章	锅炉燃烧控制	133
第一节	概述	133
第二节	燃油在炉膛内燃烧过程的调节	135
第三节	锅炉燃烧控制的原则性方案	139
第四节	锅炉燃烧控制系统举例	140

第二篇 顺序控制

第十章	顺序控制基础知识	146
第一节	概述	146
第二节	基本逻辑回路	146
第三节	二进制计数制	151
第四节	逻辑代数的基本知识	153
第五节	记忆单元	156
第六节	计数器	162
第七节	寄存、译码及显示电路	164
第十一章	柴油机主机遥控	167
第一节	概述	167
第二节	气动遥控系统的主要元件	169
第三节	“WOODWARD” PG 型调速器	180
第四节	中速四冲程 MAN40/54 柴油机气动遥控系统	185
第五节	中速四冲程柴油机气动遥控系统逻辑功能分析	195
第六节	B&W 型低速柴油机气-电遥控系统	209
第十二章	船用辅锅炉的自动化	223
第一节	辅锅炉水位控制	223
第二节	辅锅炉燃烧控制	225
第三节	燃烧时序程序控制系统的主要元件	230
第四节	燃烧时序程序控制系统	234
第十三章	分油机控制	239

第一节	自动排渣分油机的工作原理	239
第二节	自动排渣分油机的控制电路	242
第三节	时序程序控制系统的管理	246

第三篇 集中监视

第十四章	机舱报警监视	252
第一节	报警监视发送器	252
第二节	报警监视系统	262
第十五章	车钟记录仪	265
第一节	概述	265
第二节	打印机	266
第三节	指令发讯和译码回路	272
第四节	指令、时间编码	272
第五节	时间分频译码回路	276
第六节	打印控制回路	278
第十六章	巡回监视装置	282
第一节	概述	282
第二节	模拟量输入回路	283
第三节	采样和检测点序号显示回路	284
第四节	模-数转换及检测参数值显示	291
第五节	打印、报警回路	300
第十七章	电子计算机控制	303
第一节	电子计算机发展概况	303
第二节	电子计算机一般介绍	304
第三节	计算机控制系统的组成	306
第四节	控制机专用的输入输出通道	310
第五节	电子计算机在轮机自动化中的应用	313
参考资料		318

第一篇 反馈控制

第一章 反馈控制的基本概念

反馈控制是船上常用的一种自动化技术。它也是自动化的重要组成部分。了解反馈控制的基本概念，对于掌握自动化技术是十分必要的。

下面我们通过介绍一个锅炉水位控制的实例，说明反馈控制是由哪些部分组成的，它们的作用是什么，彼此之间有什么联系，并结合这个实例介绍反馈控制常用术语和基本概念。

第一节 概 述

一、锅炉水位控制系统

下面以锅炉水位控制为例，说明反馈控制的基本概念。

锅炉水位是一个重要的工况参数。水位过低，将导致受热面烧坏，造成严重事故。水位太高，蒸汽的湿度增加，将影响用汽机械的正常运转。控制好锅炉水位，使其始终维持在正常位置附近的一个容许范围内，是保证锅炉安全正常运行的必要措施。

在使用过程中，锅炉的供汽量（负荷）决定于用汽设备的实际需要，它是经常变化的。如果给水量不跟着相应地变化，将导致给水量小于或大于供汽量，使它们之间不能保持平衡。其结果必然引起水位降低或升高。要保持锅炉正常水位，就必须调节给水量。水位上升时，应减少给水量，水位降低时，应增加给水量，使给水量的变化与锅炉负荷相适应，把水位保持在要求的范围内。

通常把手工操作的调节过程称为人工控制；而把采用控制装置代替人工操作的自动控制过程称为自动控制。

自动控制是在总结人工控制经验的基础上发展起来的。为了回答控制装置是如何代替人工完成自动控制任务这一问题，应该先分析一下人工控制是怎样进行的。人在其中究竟起什么作用，然后才能看出如何从人工控制演变到自动控制

图1-1-1给出人工控制和自动控制的对比示意图。人工控制时，值班人员必须用眼、脑和手协同动作。首先眼睛要经常观察水位表中水位的高低，并反映给大脑；然后由大脑进行思考判断（运算），发出控制命令；再由手执行命令，操作给水阀，调整给水量，把水位保持在所要求的范围内。人的作用就是通过眼、脑、手三个器官分别进行观察、思考和操作，从而完成水位控制的任务。

自动控制又是怎样进行的呢？在自动控制中，采用测量仪表（测量单元）代替人的眼睛，对被调参数进行连续的测量工作，把测得的水位高度转变成气的、电的或其他的信号发送给调节仪表（调节单元），并由它代替人的大脑进行运算，发出调整命令（即控制信号），最后由执行机构（执行单元）代替人的双手调整给水调节阀，控制锅炉水位。这就是人工控

制和自动控制的简单对比。不管所用控制装置是什么结构，是气动的还是电动的，就其本质和作用来说，控制装置完成的测量、运算、执行等职能和人工控制时人所进行的观察、思考、操作等功能是完全一致的。就某种意义来说，前者就是对后者的直接模拟。

在图1-1-1中，锅炉是被控制的热工设备。在自动控制中称之为控制对象。水位是需要加以调节的热工参数，称为被控参数或被调量。我们希望保持的正常水位（即被控参数应该保持的数值）称为给定值（ x_g ）（本例中又称为给定水位）。被调参数的实际数值，即当时的实际水位，称为测量值（ x ，本例中又称为实际水位）。实际水位偏离给定水位（测量值偏离给定值）的数值，称为偏差值（ e ）即：

$$e = x_g - x \quad (1-1-1)$$

如 $e > 0$ ，即给定值大于测量值（给定水位高于测量水位），称为正偏差，反之， $e < 0$ 时称为负偏差。

偏差的另一种定义是规定测量值与给定值之差，以 E 表示，即 $E = x - x_g$ ，显然 E 与 e 的方向相反，所以在看技术资料时必须注意这个区别。引起锅炉水位发生变化的各种因素称为扰动量，本例中主要的扰动量是锅炉负荷的变化和给水量变化，其它如燃烧强度变化，给水压力、给水温度的变化等也有一定的影响。

在图1-1-1中，它是用气动仪表来控制水位的。其中测量水位的仪表是气动差压变送器。它把水位的变化转变为与之成正比的气压信号，称为测量信号。起运算作用的调节仪表是一台气动指示调节仪。它先把水位测量信号和水位给定信号（由调节仪表本身附带的定值器给出的气压信号，其数值代表希望保持的水位高度，即给定水位）加以比较，得出偏差信号，然后进行运算和放大。再根据偏差的方向和大小，发出一个按指定规律变化的气压信号，即控制信号。起执行作用的是气动执行机构和给水调节阀组成一个整体，称为气动薄膜调节阀，它按照控制信号的大小改变给水阀的开度，使给水量与锅炉供气量相适应，完成控制任务，把水位稳定在给定的位置。

一些简单的控制仪表，它的各种控制职能部分都混在一起，无法截然分为变送器、调节器及执行机构三个单元，而把这三部分装成一体。不过观察、运算和执行这三种职能，每台控制仪表却是必须具备的。

控制系统按被调参数的种类来划分有温度控制系统，压力控制系统等。按调节器的工作能源来划分有气动控制系统，电动控制系统。按控制系统能否消除静态偏差，可分成有差系统和无差系统，它主要取决于所用调节器的调节规律。按调节器给定值的变化规律来划分有定值控制系统，随动系统和程序控制系统。

在定值控制系统中，给定值为常数。定值控制系统的作用是使被调参数保持不变。机舱

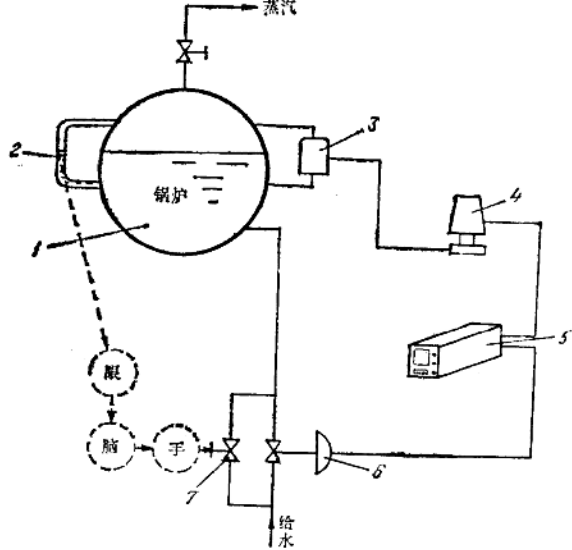


图1-1-1 锅炉水位控制系统示意图

- 1-锅炉；2-水位表；3-参考水位罐；4-差压变送器；5-调节器；
- 6-调节阀；7-给水阀

动力装置热工参数的自动控制系统大多属于定值控制系统。如锅炉水位、锅炉汽压、柴油机冷却水温度控制系统以及燃油粘度控制系统等。被调参数的给定值一经调整好，一般就不再改变了。

在随动系统和程序控制系统中，调节器的给定值都是变化的。控制系统的作用都是使被调参数始终跟踪给定值，随给定值的变化而变化。两者的区别在于：随动系统的给定值是随时变化的，即给定值相对于时间的变化规律预先无法知道；而程序控制系统的给定值是根据生产过程的要求，按照预先确定的变化规律而改变的。

随动系统就其原来的字义，就是随着某个量而动作的意思。在船上，自动舵是随动系统的一个实例。根据避碰、风向、潮流等种种事先无法知道的条件，自动操纵舵机。这些条件就是舵机这个随动系统的给定值，这些给定值的变化显然是随机的。自动舵根据输入的给定值，使舵转动相应的角度。这个角度就是系统的被调量。舵机之所以叫随动系统，就是通过这个系统，使舵机跟随着操舵机发出的指令而转动舵角，以保持航行在所要求的航向上。

随动系统在军事上有重要意义。自动火炮瞄准装置中自动跟踪飞行器的轨迹就是给定值，如再加上一些必要的计算装置，就能自动调整火炮射击时的仰角和转角即被调量。

在柴油机驾驶台遥控装置中，柴油机增减负荷的控制过程就是按预先规定的增减负荷的变化规律改变转速给定值的转速程序控制系统。它能防止柴油机气缸出现不允许的热应力变化，提高柴油机运行的可靠性。

二、控制系统传递方框图

通过前面讲过的锅炉水位控制系统可以知道，一个自动控制系统一般由被控对象、测量仪表、调节仪表、执行机构等单元组成，各单元按规定的连接关系构成一个有机的整体，共同完成参数控制任务。为了清楚地看出控制系统中各组成部分之间的相互作用，可以把每一个单元用一个方框来代替，各方框之间用带箭头的的作用线连接并表示出各单元之间的信号传递关系。这样就得到了控制系统传递方框图。图1-1-2就是按照这种方法画出的锅炉水位控制系统传递方框图。在方框图上不考虑实际装置的具体结构特点和仪表的动作细节，着重指出的是各单元在系统中的地位和彼此之间的关系，因此它是实际系统的抽象概括。如图1-1-2所示。当锅炉负荷变化引起被调量（水位）发生改变时，测量仪表将这一变化传递给调节仪

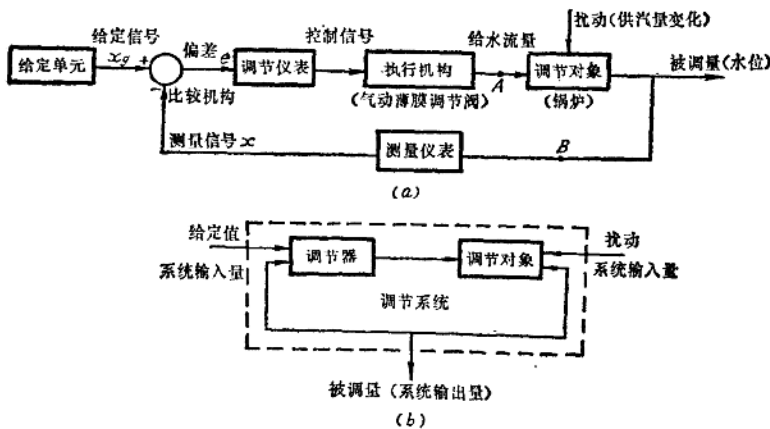


图1-1-2 锅炉水位控制系统传递方框图

表的比较机构；调节仪表根据测量信号与给定信号的偏差进行运算并发出信号，这一控制信号传递到气动薄膜调节阀，改变给水阀的开度，使给水量发生变化；给流量的变化作用于锅炉，抵消了扰动作用，使水位重新回到给定值。对于一个控制系统来说，上述信号传递关系就是抓住主要作用因素，忽略次要因素，以简略方式突出地表示了控制系统的本质，所以它是研究自动控制系统的—个很好的方式并且是一种有效的分析工具。

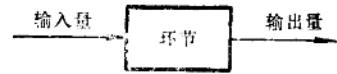


图1-1-3 环节的输入和输出

分析控制系统传递方框图，可以建立如下概念：

1.在传递方框图中，代表实际单元的每一个小方框图称为一个环节。各环节受它前一个环节的作用，又作用于后一个环节。一个环节所接受的作用称为该环节的输入量；一个环节给予后一个环节的作用称为该环节的输出量。输出量的变化既取决于输入量的状态变化，又取决于环节的特性。见图1-1-3。

2.环节的输入和输出之间的信号关系具有单向性，即环节的输入影响并决定输出。输入量变化了，输出量就跟着变化，但是输出量不会反过来影响输入量。例如图1-1-2中调节阀这一环节，输入量是控制气压，输出量是给水量，控制气压的变化将引起给水量的变化，但给水量的变化却不会影响控制气压。因为控制气压是调节仪表给出的。环节输入输出作用线上的箭头就是用来指出这种信号传递的单向性。

3.在控制系统传递方块图中，每一个环节的输出就是后一个环节的输入。如信号从调节仪表输出，经过调节阀、锅炉、测量仪表等各环节最后又回到调节仪表输入端，组成了一个闭合回路，这种系统称为闭环系统。反馈控制系统都是闭环系统。如果在某处把回路断开，这时便得到开环系统。例如在图1-1-2(a)中，A点把回路断开，这相当于把自动给水阀断开。除了测量仪表发出的信号可供显示水位外，其它调节仪表、调节阀等不起任何作用。在同一系统中，如在B点断开，则得到的开环系统相当于测量仪表损坏，不能正确地显示水位的情况，使控制系统的“眼睛”失去作用，就无法发挥控制系统的作用。这时可以把调节仪表改为“手动”，利用调节仪表附带的手操定值器，由人工遥控给水阀，这就成了一个水位手动遥控系统。总之，无论回路从哪里断开，得到的系统都不再是一个反馈控制系统。

4.在图1-1-2(b)中，把测量仪表、调节仪表和执行器归并成一个调节器方框，框图更简明地表示出调节对象和调节器之间的互相联系。对调节器来说，它根据被调量的变化而产生调节作用。输入量是被调量的偏差信号，输出量是调节阀的阀位开度。对调节对象来说，情况就颠倒过来了，它是在调节器的控制下工作的。其输入量是调节阀开度，输出量却是被调量。在调节过程中，调节对象和调节器就是这样彼此影响，互相制约，共同克服扰动作用。对于图中虚线框内的调节系统来说，给定值和扰动量都是外界对系统的作用，是系统的输入量，而被调量则是系统的输出量。

5.对于调节仪表来说，它接受的是水位给定信号及水位测量信号，发出的是控制信号。调节器的两个输入信号——水位给定信号和水位测量信号，在比较机构上进行比较。在图中比较机构以符号⊗表示。比较机构不是独立元件，它是调节仪表的一部分。在图1-1-2中单独画出来是为了着重说明它的比较作用。在一个闭环系统中，锅炉水位的变化是受调节器输出控制的。或者说，水位就是调节仪表的（经过调节阀、锅炉作用过的）输出，现在把这个输出又送回到调节仪表作为它的输入，这种情况叫做反馈。从物理上看，为了进行自动控制，反馈是必要的和有效的。在控制系统中，被调量的实际值是经过调节仪表作用的结果。

这个结果是不是满足了要求，只有送回（反馈）调节仪表，经鉴别后再继续进行调节。如此循环往复，直到被调量与给定值之间的偏差被消除或者被减小到容许的程度为止。没有这种反馈，就无法实现比较。因而也就不能进行自动控制。这就是按偏差进行调节的自动控制系统称为反馈控制系统的原因。舵机的追随机构，液压调速器的补偿机构都是反馈作用的实例。

还应该指出，在反馈控制系统中，为了确实达到消除偏差的目的，必须正确地选择反馈的方向。假定系统是由于扰动作用，使被调量偏离给定值。那么调节器发出控制信号，通过调节阀改变进入被控对象的物质或能量，最终应该使被调量等于或接近给定值，即控制系统永远朝着最终消除偏差的方向动作。因此，必须采用负反馈。合理的选择调节器和执行器的作用方向就可实现负反馈。在图1-1-2a的比较环节符号 \otimes 中，给定信号 x_g 旁标有正号“+”，而在测量信号（负反馈信号） x 旁标有负号“-”，它就是用来表明负反馈的。设想采用的是正反馈，那么调节作用不仅不能克服扰动的影响，反而使被调量越来越大地偏离给定值。

除了自动控制之外，在测量和遥控技术、电子技术中都广泛应用反馈原理。

以后我们会看到，对于一台自动调节仪表，也是通过内部反馈的方法以获得预期的性能，使输出和输入之间的关系满足控制系统的要求。

总之，在自动控制系统中，凡通过反馈环节（如图1-1-2a）测量仪表）把输出信号引回到输入端，以增强或减弱输入信号的效应都称为反馈。其中，凡使输入信号增强的称为正反馈。使输入信号减弱的称为负反馈。

第二节 反馈控制系统的控制过程

设反馈控制系统处于某一平衡状态：调节对象的负荷固定不变，调节器的调节动作暂告结束，输出的控制信号恒定，被调量维持在给定值上。在锅炉水位控制系统中，这相当于给水量和蒸汽流量处于平衡且无扰动发生的情况，因而水位稳定在给定高度上，不升不降。

如果由于用汽量突然减少，这就给锅炉施加一个扰动。这种突然从一个值变到另一个值的扰动形式称为阶跃扰动。引用这种扰动形式主要是因为它能反映各种最坏的扰动和在理论分析时比较方便。

扰动破坏了系统的初始平衡。被调量偏离给定值（水位升高），于是调节器发挥调节作用，克服扰动造成的影响。经过一定的时间过程又使被调参数（水位）重新回到给定值或给定值附近。这个过程称为调节过程或过渡过程。调节过程结束后，反馈控制系统又达到了新的平衡状态。所以，调节过程就是偏差发生、发展到消失（或接近消失）的过程。

为什么一定要有一个调节过程呢？扰动发生后，既然有调节作用，被调量为什么不可避免地要发生偏差呢？这是反馈控制系统本身的性质决定的。调节器是按偏差动作的。扰动作用后，只有等到被调量偏离了给定值，出现了偏差，调节器才能发挥作用，才着手去消除出现的偏差。从调节器开始动作，到建立新的平衡，需要一定的时间，这个时间称为调节时间或过渡时间（ T ）。此外，在实际控制系统中，调节器或被控对象都或多或少存在反应迟延的特性。本来被调量已经产生偏差了，调节器却不能及时测知并进行调节，而当调节器开始产生调节作用时，这种作用的效果也不能立即在被控对象上表现出来，偏差的发现与纠正都不那么及时，因而更拖长了调节时间。

在实际调节过程中，被调量往往围绕着给定值上下波动，形成一个振荡过程。图1-2-1