

高等学校试用教材

船舶机舱自动化

陈明昭 汪仲山 朱之垣 编著



武汉水运工程学院

高等学校试用教材

船舶机舱自动化

陈明昭 汪仲山 朱之垣 编著

武汉水运工程学院

前 言

本书系根据船舶动力装置专业80学时教学计划制订的《船舶机舱自动化教材编写大纲》编写的，供高等学校船舶动力装置及相近专业教学使用，亦可供水运系统从事船舶动力装置及其自动化工作的工程技术人员和管理人员参考。

本书编写的特点是：（1）侧重船舶机舱自动化的基本原理分析和设计方法介绍，力求能用理论指导实践，使读者对从事机舱自动化的设计研究工作有一定指导意义；（2）注意理论联系实际，本书在阐述机舱自动化原理时，以基本理论为线索联系了一定数量的内河及中小船舶机舱自动化的例子，并适当联系了海船机舱自动化的内容，故本书尤其对从事内河及沿海中小船舶机舱自动化的工程技术人员和管理人员有参考价值；（3）本书的编写安排尽量做到由浅入深，循序渐进，以便读者自学。

本书共分九章。第一～第三章为机舱自动化的基础；第四～第八章着重叙述各类机舱自动化装置或系统的设计原则和要求、控制方案和方法、典型系统的原理和特点、设计方法要点等；第九章为机舱集中监控，主要介绍一般原则，因学时限制，对具体装置仅作简略介绍。

本书绪论，第一章，第三～第五章由汪仲山同志编写，第二章由朱之恒同志编写，第六～第九章由陈明昭同志编写。全书由张乐天付教授主审。在编写过程中，曾得到上海船舶运输科学研究所杨百生（高级工程师）、上海长江轮船公司陈兆中（工程师）、武汉长江轮船公司谭明树（工程师）等同志的大力支持，在此谨表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中缺点和错误恐有不少，恳请广大读者和使用本教材的单位提出宝贵意见。

编者 1984年2月

绪 论

船舶机舱自动化是船舶自动化的重要组成部分，也是现代化船舶的重要标志之一。

为了保证船舶的正常航行，轮机人员必须对机舱诸机电设备或系统进行各种操作。例如：操纵主机的起动、换向、变速及停车；起动或停止各种辅机；开大或关小各种阀门等。如果这些操作不是由轮机人员直接去完成，而是通过配备在机电设备或系统上的自动化仪表或装置来完成，则这种用自动化的手段来管理动力装置的办法就称为动力装置自动化。由于动力装置的各机电设备和系统大都集中在机舱，所以又称为机舱自动化。

船舶机舱自动化包括哪些内容呢？由于动力装置所包括的机电设备种类繁多，并且自动化的任务和要求也各不相同，因此对一艘完善的自动化船舶而言，其机舱自动化的内容是很多的，概括起来有以下五个方面。

一、自动调节

为了保证机舱诸机电设备的正常工作，某些重要的运行参数必须保持在一定范围内。自动调节就是借助自动化仪表来完成这一任务的。在机舱内常见的自动调节有：

（一）压力自动调节。如柴油主机和柴油发电机的滑油压力自动调节；压缩空气系统中的空气压力自动调节；蒸汽锅炉中的蒸汽压力自动调节等。

（二）温度自动调节。如柴油主机和柴油发电机的滑油温度自动调节；冷却水温度自动调节；燃油加热温度自动调节等。

（三）液位自动调节。如日用燃油柜的油位自动调节；锅炉水位自动调节；压力水柜中水位自动调节等。

（四）燃油粘度自动调节。现代船舶特别是远洋大型船舶的动力装置中，为了合理地利用能源、降低运输成本以提高船舶的经济性，大多用重油作为柴油机的燃料。在内河蒸汽机船舶中亦有用重油作为锅炉的燃料。在这类船上，通过自动化仪表来调节进入燃油加热器的蒸汽量来直接或间接控制燃油粘度的调节过程，称为粘度自动调节。

二、远距离操纵（简称遥控）

遥控最典型的例子是驾驶室遥控主机，即从驾驶室发出最简单的操纵指令后，主机遥控系统能自动地完成对主机的起动，正、倒车换向，离合器的结合与脱开，转速的控制和停车等操作程序。此外还有驾驶室遥控操舵系统、集控室起动或停止柴油发电机组和舱底水泵及压载水阀的开闭等远距离操纵的例子。

三、自动控制

自动控制是指机舱各辅机的自动化。它主要包括柴油发电机的自动起动、调速、并车、停车和在某运行机组发生故障时自动切换至另一台机组；某些泵浦的自动起停和切换；空压

机的自动起停和切换；滑油滤清器的自动清洗；自清式离心分油机的清渣自动操作；内燃机船上的辅助锅炉和废汽锅炉的自动点火、熄火和供水；阀门的自动开闭等。

四、自动监视和报警

为了确保动力装置安全可靠地运行，通常设置各种自动检测仪表、灯光显示和报警装置，以便随时了解各主要运行参数的大小和设备的运行状态，并自动作下记录，在参数越限或设备发生故障或出现危险（如机舱失火）时自动报警。在无人机舱的船上，有些报警还必须分别直接通到轮机长室、责任轮机员室和公共场所。

五、安全保护

它是机舱自动化的必要补充。当主辅机在运行中出现不正常情况时应及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时，其保护装置就应立即停止供油，使其熄火；在主机飞车或主轴承温度过高或滑油压力过低时，其保护装置应能立即降低转速，甚至迫使停车等。

上述五个方面是机舱自动化的主要组成部分。虽然它们的功能各不相同，但它们之间又是相互联系和互为补充的，并且都是以自动控制原理和自动化装置为基础的。

船舶机舱自动化是近代船舶技术发展的主要方向之一。近二十余年来，世界各造船国家把它作为一项专门技术领域来考虑，因而发展很快。其发展过程大致可分为如下几个阶段。

在六十年代以前，虽然已实现某些轮机设备的单项自动化，如锅炉水位的自动调节、某些热工参数的自动调节等，但那时的自动化设备只是作为被调对象的附件来考虑的，而未形成一个完整的控制系统，并且其控制精度和可靠性也较差。

1960年至1964年间，随着船舶向大型化、专业化、高速化的方向迅速发展，机舱集中控制和主机驾驶室遥控技术得到了逐步发展。1961年日本建造了世界上第一艘自动化商船“金华山丸”（9800吨、42名船员），实现了主机驾驶室遥控，并把机舱作为一个整体进行自动控制，设置了具有空调和隔音的集中控制室，只需一人值班就能对整个机舱的设备进行集中监视和遥控。这一成功引起了世界造船界和航运界的极大注意，推动了船舶自动化技术的进一步发展。此后，这类自动化船舶逐年增多，日本、英国、西德和北欧一些国家都相继采用了大型柴油机的自动遥控、燃油粘度控制、油雾检测、轴承温度测量和发电机自动转换以及辅助锅炉的全自动控制等。可以说这是船舶自动化作为专门技术发展的第一阶段。

从1965年至1968年，发展了“机舱无人值班船”，简称“无人机舱船”。这种船的机舱自动化设备能满足在夜间及假日中24小时以至48小时内机舱无人值班的要求。所谓无人机舱，即机舱设备的启停、运行状态和有否事故的检测无须值班人员下到机舱进行，而仅在集控室或居住舱室依靠自动化设备和报警装置就可以有效地进行观察和了解。无人机舱除了要求在独立的机舱集控室内对主、辅机等进行集中监视和遥控外，还要求驾驶室能对主机进行遥控。为了保证机舱的安全，实现无人机舱必须以高度可靠的轮机设备和完善的自动化设备为前提，并且必须装设完善的火灾探测装置以及在机舱、集控室、驾驶室和轮机人员居住区建立通讯和报警装置。

1965年日本为丹麦建造的柴油机船“Selme Dan”号和丹麦建造的柴油机货船“And-

orra”号是世界上最早的两艘无人机舱船。此后，西德、法国等也相继建造了无人机舱船。1968年各国向英国劳氏船级社登记的无人机舱船已有228艘。据1972年统计，世界上取得挪威“EO”称号的无人机舱船达到400多艘。这是船舶自动化技术发展的第二个阶段。

从1969年开始，船舶自动化技术发展进入第三阶段，即采用计算机全面控制的所谓“超自动化船”。它的主要特点是跳出了机舱自动化的范畴，除了动力系统外，在导航、船体、装卸、报务甚至医疗等方面实现了全盘自动化。

“星光丸”是日本1970年建成的第一艘用计算机控制的超自动化柴油机油船(138000吨)。该船采用一台东芝公司制造的TOSBAC300S型船用控制计算机。应用的程序有：机舱故障应急处理、主机转速扭矩控制、机舱数据记录、导航卫星的船位推算、电罗经的船位推算、电磁计程仪的计算、预防碰撞、装卸自动控制、船体状态计算、货油和压载的最佳装载计算、医疗诊断等11项。

继“星光丸”之后，日本、瑞典、英国等先后建造了多艘用计算机进行全盘控制的船舶。这种用一台电子计算机实现全盘控制的方式称为“计算机集中控制方式”或超自动化船的第一代电子计算机控制方式。

七十年代中期以来，随着微处理机的发展，出现了超自动化船的所谓第二代电子计算机控制方式，即根据船舶动力装置的性能不同，将控制对象进行分类或者按区域划分，采用几台微型计算机分别控制不同对象，所以这种方式又称分散控制方式。荷兰的“Nedlloyd Houtman”轮是世界上第一艘应用微处理机技术实现机舱监控的船舶。它与采用一台大型电子计算机的集中控制系统相比较，不仅体积小、重量轻、可靠性好、而且成本低、维护管理方便。

目前国外机舱自动化的发展动向主要有：（1）开展“超自动化船”的技术研究工作，进一步提高自动化程度；（2）监测对象的扩大，特别是代替人的听觉和嗅觉进行监测的自动化仪表，监测柴油机气缸内部工况的新型传感器已经实用化；（3）后备系统的完善，运行设备一旦出现故障报警，要求由船员迅速处理是存在着困难的，必须设置完善的后备系统，自动投入工作；（4）随着微处理机在船舶自动化方面应用的扩大，将普遍采用多路传输系统，它能以少量的多芯电缆实现大量的数据传输，在一些易爆、易燃的危险场合，则将广泛采用光纤通讯技术；（5）实现最优化控制，由微型机制订最佳航线，并控制船舶设备在最佳效率下运行，以达到高度节能的目的。

在我国自五十年代后期就开始了船舶机舱自动化的研究工作。当时曾在内河蒸汽机船上使用过“机驾合一”，在万吨远洋货轮“跃进”号和“红旗”号上装设了液压自动调节系统。后来又为6ESD60/106型和12V300型柴油主机研制成功了气动及电动遥控装置，同时也研制出一些单机自动化设备，但技术发展较慢。直到七十年代后期，船舶机舱自动化技术才有较大的发展，并在主机遥控、机舱集中控制和船舶电站自动化方面取得了一些成果，同时也研制生产了一些其他动力装置的自动化设备和仪表。

推进机舱自动化技术的发展，不仅能加速实现船舶现代化的进程，而且对航运事业也能带来明显的好处：

1. 减轻劳动强度，改善劳动条件。在没有设置机舱自动化装置的船舶上，轮机人员必须坚守在机舱内值班，以便随时执行驾驶室发来的操作命令、观察各设备运行参数的变化，

并及时进行调节,使设备可靠地运行。这对内河船舶特别是长江上游航行的船舶来说,轮机人员不仅处在温度高、噪音大、油气污染严重的机舱恶劣环境里,而且还处在主机用车频繁的紧张劳动中。如果实现了机舱自动化,则机舱设备的操作可部分地或全部地由自动化装置来完成。在设有机舱集控室的船舶上,轮机人员仅在集控室内值班和短期下到机舱作巡回检查即可,而无须长期处在机舱的恶劣环境中。在“无人机舱”的船舶上,轮机人员还可以从晚间值班中解放出来。可见实现机舱自动化能使机舱人员的劳动强度减轻和劳动条件改善。

2. 降低燃料及动力消耗,提高船舶营运的经济性。实现机舱自动化后,轮机设备能保持在较佳的运行状态,使得使用效率提高和设备寿命延长,从而降低燃料和动力的消耗。例如,维持柴油机的冷却水温在最有利的范围内,就可减少冷却水带走的热量,使柴油机的热效率提高,一般能使效率提高1.5~2%左右。

3. 保障安全,提高运行的可靠性。自动化装置能及时发现机舱设备的故障,并随时采用处理措施,从而防止事故的发生,保证运行的安全。特别是使用装有故障监视点的集中报警装置,轮机人员在集控室比在机舱中巡查了解情况更清楚和更及时。有些自动化装置还能自动采取应急处理措施,这就更提高了运行的可靠性。另外,自动化装置还可以使驾驶室遥控主机的传令的往返时间缩短,从而能不失时机地操纵主机,提高船舶的机动性和保证航行的安全。

4. 减少设备的维修次数,提高船舶营运率。在机舱自动化的船舶上,轮机人员可以有更多的精力和时间来对设备进行耐心细致的维护保养工作,增加设备的完好程度。并且根据自动化设备提供的记录,可以使维修工作“有的放矢”、准确、及时,这样就不仅能减少维修次数和费用,而且提高了维修的速度,从而提高了船舶的营运率。

综上所述,可以看到不断提高船舶机舱自动化的程度,逐步向“无人机舱”和“超自动化船”的方向发展,不仅是我们造船和航运事业迅速发展的需要,而且是四个现代化的要求。因此,我们必须努力学习,掌握好机舱自动化的新技术,在不断提高自动化仪表可靠性的基础上,设计出更好的自动化装置或系统来,为我国的四个现代化作出贡献。

目 录

绪 论

第一章 机舱自动化基础

§ 1—1	自动控制系统的组成及分类	(1)
§ 1—2	自动控制系统的特性	(4)
§ 1—3	控制系统动态特性的表示方法	(7)
§ 1—4	控制对象的特性	(10)
§ 1—5	自动调节器的特性及其对控制过程的影响	(20)
1—5—1	双位控制器特性	(20)
1—5—2	比例调节器特性	(21)
1—5—3	比例积分调节器特性	(24)
1—5—4	比例微分调节器特性	(29)
1—5—5	比例积分微分调节规律	(33)

第二章 自动化仪表

§ 2—1	概述	(35)
§ 2—2	气动仪表的基本元件及其工作原理	(35)
2—2—1	阻容元件	(35)
2—2—2	弹性元件	(39)
2—2—3	喷嘴挡板机构	(41)
2—2—4	功率放大器	(42)
2—2—5	跟踪器	(42)
§ 2—3	气动变送单元	(43)
2—3—1	差压变送器	(43)
2—3—2	压力变送器	(49)
2—3—3	气动压力式温度变送器	(51)
§ 2—4	气动调节单元	(53)
2—4—1	基本调节规律在调节器中的实现	(53)
2—4—2	船用四针比例——积分调节器	(63)
2—4—3	膜片式比例——积分调节器	(63)
2—4—4	船用基地式比例——积分调节器	(67)
2—4—5	调节器的参数测量和整定	(68)
§ 2—5	气动显示单元	(73)
2—5—1	三针记录调节仪	(74)

2—5—2	色带指示仪	(80)
§ 2—6	气动执行机构	(82)
2—6—1	气动执行机构在自动控制中的作用	(82)
2—6—2	调节阀的分类	(85)
2—6—3	阀门定位器	(86)
2—6—4	调节阀的流量特性	(88)
§ 2—7	其他单元和气源装置	(92)
2—7—1	给定单元	(92)
2—7—2	转换单元	(93)
2—7—3	辅助单元	(94)
2—7—4	气源净化设备	(97)
§ 2—8	电动仪表概要	(99)
2—8—1	电动变送器工作原理	(99)
2—8—2	电动调节单元工作原理	(113)
2—8—3	电动执行单元概述	(118)

第三章 程序控制系统设计基础

§ 3—1	概述	(122)
§ 3—2	逻辑代数基础	(123)
§ 3—3	基本逻辑回路	(127)
§ 3—4	常用记忆回路	(131)

第四章 船舶柴油主机遥控概述

§ 4—1	主机遥控的基本概念	(134)
§ 4—2	主机遥控系统的组成及其种类	(135)
§ 4—3	主机遥控系统的设计要求及性能指标	(138)

第五章 柴油主机气动遥控系统

§ 5—1	气动操纵器	(141)
§ 5—2	气动遥控常用元件	(144)
5—2—1	气动控制阀件	(144)
5—2—2	气动逻辑元件	(150)
§ 5—3	气动遥控执行机构	(156)
§ 5—4	气动遥控系统设计	(160)
5—4—1	换向、起动逻辑回路的设计	(160)
5—4—2	自动再起动力回路设计	(162)
5—4—3	临界转速自动避让回路设计	(164)

5—4—4	主机转速控制回路设计	(165)
§ 5—5	柴油主机气动遥控系统实例	(167)

第六章 柴油主机电动遥控系统

§ 6—1	电动随动遥控系统	(178)
6—1—1	典型随动遥控系统的组成及方框原理	(178)
6—1—2	电动遥控的指令发送器	(179)
6—1—3	相敏整流方向鉴别器	(188)
6—1—4	电动遥控系统的中间放大器	(195)
6—1—5	电动遥控系统的执行电路	(203)
6—1—6	电动随动遥控系统实例	(211)
§ 6—2	电动程序遥控系统	(216)
6—2—1	概述	(216)
6—2—2	YK—1型电动程序遥控系统的组成及方框图	(216)
6—2—3	遥控系统的主要程序环节	(217)
6—2—4	电动程序遥控系统实例分析	(223)

第七章 柴油机船的动力系统自动化

§ 7—1	压缩空气装置自动化	(226)
7—1—1	压缩空气装置自动化内容	(226)
7—1—2	压缩空气装置自动化原理	(226)
§ 7—2	冷却水装置自动化	(234)
7—2—1	冷却水装置自动化内容	(234)
7—2—2	冷却水装置自动化原理	(235)
§ 7—3	燃油装置自动化	(242)
7—3—1	燃油装置自动化内容	(242)
7—3—2	燃油装置自动化原理	(243)
§ 7—4	滑油装置自动化	(251)
7—4—1	滑油装置自动化内容	(251)
7—4—2	滑油装置自动化原理	(252)
§ 7—5	分油机自动化	(256)
7—5—1	概述	(256)
7—5—2	DBY—30型分油机自动化装置原理	(257)

第八章 辅助锅炉自动化

§ 8—1	辅助锅炉自动化的基本内容	(267)
§ 8—2	辅助锅炉自动化的主要控制单元	(269)
8—2—1	水位控制	(269)

8—2—2	蒸汽压力控制	(270)
8—2—3	燃油系统控制	(276)
8—2—4	火焰检测	(277)
§ 8—3	辅助锅炉自动控制实例	(279)

第九章 集中监控

§ 9—1	概述	(287)
§ 9—2	报警系统	(291)
9—2—1	报警参数的确定及对报警系统的要求	(291)
9—2—2	报警装置线路实例	(293)

第一章 机舱自动化基础

§ 1—1 自动控制系统的组成及分类

一、自动控制系统的组成

在船舶机舱内,就其控制任务来说,种类繁多,不胜枚举。但就其控制的性质来分,不外乎有连续控制和断续控制两大类。这两大类又广义的称为自动控制。连续控制是指被控量(被控参数)不管扰动多大,都能紧跟给定值连续变动的系统。断续控制的被控量是开变量。如果控制系统输出变量的有或无取决于逻辑条件,或取决于时间先后次序,或是操作的顺序,则控制系统又称为程序控制。

通常,我们把要求实现自动控制的机器、设备称为被控对象(如柴油机、锅炉及其他机电设备等)表征对象是否正常工作而需要加以控制的物理参数称为被控量。自动控制装置是指对被控对象起控制作用的设备总称。如调节器、自动化仪表以及各种类型的遥控装置等。

自动控制系统是指能够对被控对象的工作状态进行自动控制的整个系统。也就是说,自动控制系统是由被控对象和控制装置(常广义地称为调节器)相结合构成的。在对机舱各种机、电设备进行自动控制的时候,为了得到好的控制效果,必须根据控制对象的特性,选择具有合乎需要的控制规律的控制装置组成自动控制系统,并让它在最佳工作条件下运行,使整个控制系统满足船舶航行的需要。

下面以柴油机冷却水温度自动控制为例,说明自动控制系统的组成及其工作原理。

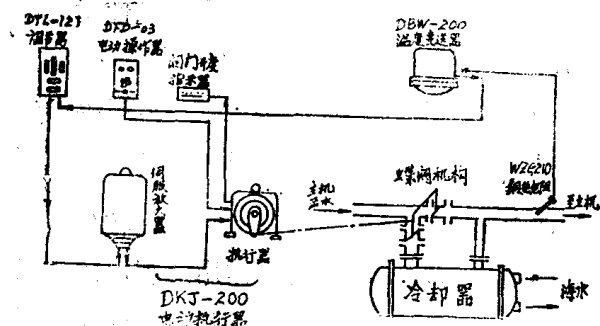


图 1—1 柴油机冷却水温度自动控制系统

图 1—1 所示的冷却水温度自动控制系统就是由冷却器(被控对象)和电动调节器所组成。其中冷却水称为被控工质,冷却水的温度就是被控量。柴油机正常运行所要求保持的冷却水温度(例如 60°C)称为给定值。在该系统中,为了测量冷却水的温度而设有温度变送器和热电阻,它装在柴油机冷却水出口处,把冷却水的温度转换为电流信号送往调节器。这里采用的温度变送器和热电阻

一起称之为测量单元,其输出的电流变化量正比于水温的变化量。调节单元是整个控制系统的重要部分,它接受变送器输出的电流信号,通过比较电路与给定值信号进行比较,然后进行某种运算再输出电流信号至电动执行器。电动执行器控制蝶阀机构的开度,改变进入冷却器的被控介质流量,以便控制冷却水温度。

温度控制系统的工作原理是:当柴油机负荷发生变化后,冷却水的温度也随着发生变化,通过热电阻使变送器的输出电流信号也发生变化。这种变化在调节器内与给定值相比

较，如果二者一致，则调节单元的输出无变化。如果二者不一致，则调节单元输出的电流信号就发生变化。这种变化输送至电动执行器，随之改变蝶阀开度，使冷却器水温向近于给定值的方向变化。

各种自动控制系统，尽管它们所控制的物理参数不同和控制装置的种类繁多，构造千差万别，但是自动控制系统的组成原则都是一样的。

自动控制系统由许多单元或设备组成，为了简单而明了地表示系统的结构和系统中各单元之间的相互关系，常用方框图表示。图 1—2 所示就是图 1—1 所示的冷却水温度自动控制系统的方框图。

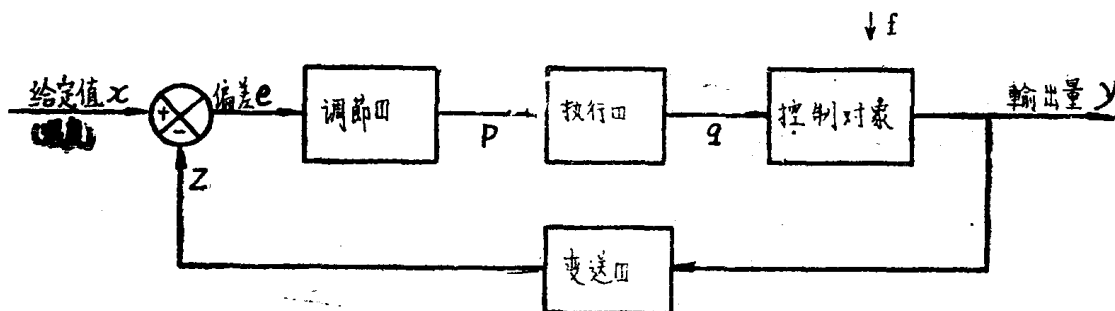


图 1—2 冷却水温度自动控制系统的方框图

从图 1—2 可见，每个方框都表示具有一定功能的单元或设备，各方框之间用一条带箭头的方向线联系起来，以表示单元或设备的相互关系和信号的传递方向，且传递方向是单向性的。图中 y 表示被控参数（冷却水温度），它是控制对象（冷却器）的输出量。图中 f 表示系统所受的扰动量，即主机的负荷的变化引起了冷却水温度的变化，它作用在控制对象上。由上述可知，系统方框图就是系统中每个单元或设备的功能之间的联系和信号的流向的图解表示法。

在这里必须指出，扰动是破坏系统平衡的、不可避免的客观存在，因此消除扰动的影响是自动控制系统根本任务。由于扰动的出现没有固定的形式，而且多半属于随机性质的，所以在分析和设计控制系统时，常常采用阶跃扰动的形式。

图中 Z 是测量值，它是由测量元件测得的水温通过变送器转换成的电信号。 X 是给定值，它是柴油机正常工作所要求的水温的模拟量——电信号。图中符号 $\rightarrow \otimes \rightarrow$ 表示比较机构，但它是调节器的一部分，而不是独立的元件，在图中把它独立画出来为的是说明其比较作用。符号中的“+”、“-”号是表示给定值为正，而测量值为负，即二者的作用是相反的，当给定值为负时则测量值为正。注意并非给定值就一直为正，而测量值就一直为负。因此比较机构在这里是将给定值与测量值相减，然后送出二者的差值。图中的 e 就是给定值与测量值的差，称为“偏差”，是调节器的输入量。图中 p 既是调节器的输出量又是执行器的输入量，而 q 则是执行器的输出量——蝶阀的开度。

为了正确建立系统方框图和由方框图来正确分析系统，我们必须明白以下几个概念。

(1) 在系统方框图中，每个方框代表一个实际单元，又是实际单元的抽象。一个方框称为一个环节。每个环节接受其前面一个环节的作用，又向后一个环节施出作用。接受的作用称为输入量，施出的作用称为输出量。输入量和输出量的传递都具有单向性而不会逆向传

递，并且输入量影响输出量而输出量不会影响输入量。另外系统方框图具有这样一种特性：只要有一个方框具有单向性，整个系统就具有单向性。

(2) 在系统方框图中，两个方框之间的带箭头的直线只表示信号及其传递方向，而不表示被控工质的流动方向。但往往有时被控工质的流向又刚好与信号的传递方向相同，这就要求我们要概念明确。例如图 1—2 所示的系统方框图中，调节阀控制着被调工质的流量，因而它是把控制作用施加给控制对象以克服扰动的影响的。而调节阀所控制的工质又刚好是流入控制对象的。

(3) 从图 1—2 可以看出，自动控制系统方框图中任何一个信号沿着箭头所示的方向前进，最后又回到原来的起点。这从信号的角度来说，成了一个闭合的回路。象这样的系统就称为闭环系统。这个系统的输出量是被控参数 y ，这个被控参数经过测量单元又作用到系统的输入端与给定值相比较。这种把系统的输出量引回到输入端的做法叫做反馈。当反馈量与给定值的符号相反时，这种反馈就称为负反馈，负反馈的结果使被控参数的变化量减小。当反馈量与给定值的符号相同时，这种反馈就称为正反馈，正反馈的结果使被控参数的变化量增加。可见自动控制系统一定要采用负反馈而不能采用正反馈。所有的自动控制系统都是具有负反馈的闭环系统。

如果系统的输出量没被引回到输入端，也就是没有采用反馈，那么这样的系统就称为开环系统。自动测量、自动操纵和自动报警等均属于开环系统。图 1—3 所示为开环系统的方框图。

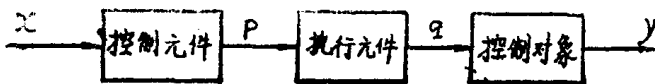


图 1—3 开环系统方框图

开环系统不对被控参数进行测量和反馈，而一般只根据人的意志按一定的程序或规律来控制 and 调节被控参数。它无法进行自动控制。

二、自动控制系统的分类

自动控制系统有多种分类方法，但常用的方法是按给定值的形式来分类。这样，自动控制系统就可分为三大类。

(一) 定值控制系统

所谓“定值”就是“恒定给定值”的简称。在生产过程中必须规定被控参数一定或在某个范围内变化，这个规定的数值就是给定值。当给定值不随时间的变化而变化时，就是给定值恒定。给定值恒定的系统称之为定值控制系统。动力装置的热工参数自动控制系统大都属于定值自动控制系统。如冷却水温度自动控制系统、锅炉蒸汽压力自动控制系统等。

(二) 随动控制系统（也称跟随系统）

随动控制系统的给定值是随机变化的，它相对于时间的变化规律事先是无法知道的。系统的控制作用是被控参数始终跟随给定值变化而变化。例如船舶操舵控制系统、主机的转速遥控等属于此类。

(三) 程序控制系统

程序控制系统的给定值也是变化的，其变化是根据生产过程的要求而预先制定的程序而进行。系统的控制作用也是使被控参数随给定值变化而变化。例如主机遥控系统中的起停换

向程序控制系统和辅助锅炉的自动点火程序控制系统等就属于此类。

§ 1—2 自动控制系统的特性

一、系统的静态和动态

在自动控制系统中,被控量不随时间而变化的平衡状态称为系统的静态,也称稳态,被控量随时间而变化的不平衡状态称为系统的动态。

当一个自动控制系统的输入(给定值和扰动量)恒定不变时,整个系统处于一种相对的静止状态,这时系统的各个环节如变送器、调节单元和调节阀等暂不动作,其输出信号都处于相对静止状态——静态。在这里要注意一点,所谓静态,不要认为是各参数为零,而是各参数的变化率为零。下面仍以主机冷却水温度自动控制系统为例说明系统的静态和动态。

当流入冷却器的水量和流入主机冷却水系统的水量恒定、系统的扰动量 $f = 0$ 、且 $y = x$, 即被控量的变化为零时,系统才处于静态。一旦系统受到扰动 ($f \neq 0$)、平衡被破坏时,被控量就会发生变化,调节器就开始调节,改变被控量以抵销扰动的影响,使系统恢复平衡状态。在从扰动发生到经过调节而重新平衡的这段时间内,系统的各环节和量处于变动之中,这种变化的状态就是动态。

在自动控制系统中,了解系统的静态是必要的,而了解系统的动态则更为必要。因为扰动引起系统失去平衡后,需要知道系统中的被控量、流量等是如何变化的;要研究系统能否重新实现平衡和怎样实现平衡,所以研究自动控制的重点就是研究系统的动态。

二、自动控制系统的控制过程

自动控制系统处于动态时,被控量随时间变化的过程称为自动控制系统的控制过程或过渡过程,亦即系统从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态的过程。在控制过程中,被控量随时间变化的关系曲线称为控制过程曲线(也叫过渡过程曲线)。衡量一个系统控制质量的好坏主要是依据过渡过程曲线。

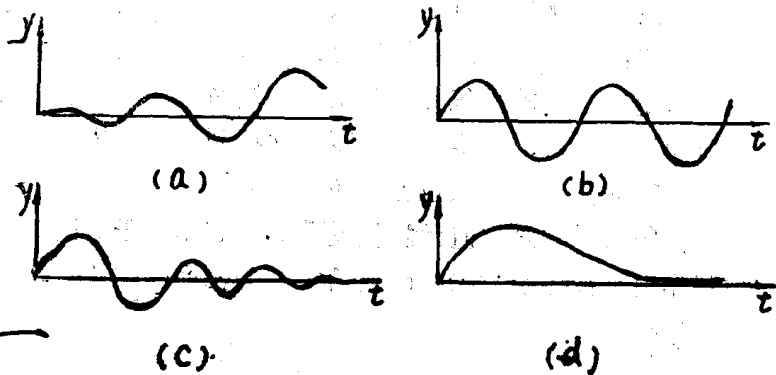
评价控制质量的好坏,通常是比较在相同阶跃信号的作用下,系统的被控量变化的过程。当有阶跃扰动作用于控制系统时,被控量的变化过程曲线便会出现如图 1—4 所示的几种情形。

如果自动控制系统受到一次扰动后,经过控制能够达到新的平衡状态,即被控量能达到新的稳态值,那么这样的过程就称为稳定控制过程。稳定控制过程又分两种情况,衰减振荡过程和

非周期振荡(单调)过程,

如图 1—4 (c)、(d) 所示。

图 (c) 为衰减振荡过程曲



a) 发散振荡; b) 等幅振荡; c) 衰减振荡; d) 单调过程。

图 1—4 控制系统的几种控制过程曲线

线，它表示被控量经过几次波动后才衰减至稳定状态；图（d）为单调过程曲线，它表示被控量未经波动就达到稳定状态，或达到允许的范围内。从过程曲线上可以看出，单调过程被控量变化缓慢，过渡时间长，且参数变化的幅度大，因而不能满足动力装置正常运行的需要，一般不予采用。而通常采用的是衰减振荡的控制过程。

自动控制系统受到扰动后，如果被控量的变化规律呈发散振荡或等幅振荡的情形，则这样的控制过程就叫做不稳定的控制过程，如图 1—4 (a)、(b) 所示。图(a)为发散振荡过程曲线，它是不能采用的，因为被控量变化越来越大，会给控制系统造成不良后果。图(b)所示的过程曲线是等幅振荡的情形，这种控制过程中的被控量是等幅度地不断变化，而系统处于稳定与不稳定之间，即所谓临界稳定，它属于不稳定的范畴。因此这样的控制过程也是不能采用的。

三、控制过程的品质指标

评定一个自动控制系统的好坏，可以先用实验的方法或通过理论分析的方法求出控制过程曲线，然后再依此而进行分析、评定。由于衰减振荡的控制过程是我们所希望的过程，所以这里以它作为讨论控制过程品质指标的依据。图 1—5 所示为系统在阶跃扰动下所发生的衰减振荡的控制过程曲线的一般形式。图中(a)所示为扰动作用后的控制过程；图中(b)所示为给定值改变后的控制过程。前者是定值控制的过程，后者是随动控制的过程。

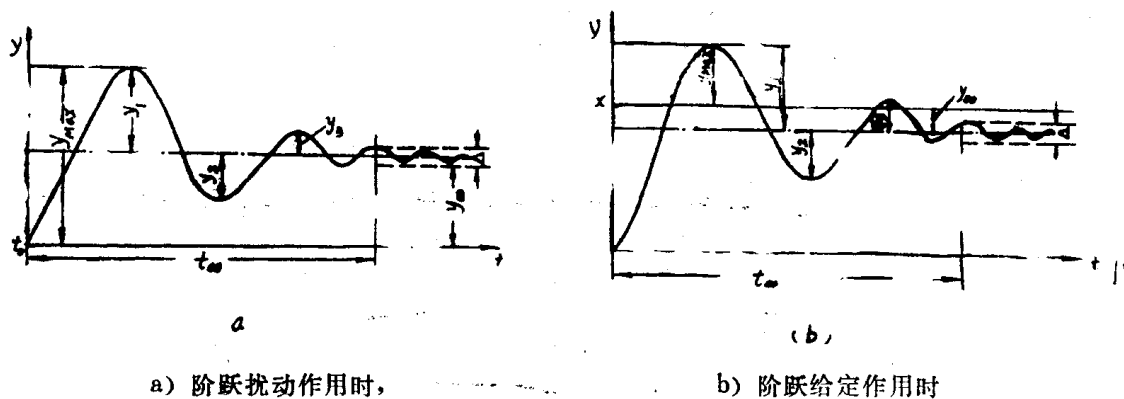


图 1—5 系统控制过程质量指标示意图

评定系统控制质量的好坏，主要是看其稳定性、准确性和快速性如何，下面分别予以讨论。

(一) 稳定性

稳定性是决定一个控制系统能否实际应用的首要指标。控制系统必须要求经过控制后能达到一定的稳定程度。这个稳定程度一般用衰减率来定量地表示。衰减率是指每经过一个周期，被控量波动的幅值衰减的百分数，用符号 ψ 表示，即

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{y_1} = 1 - \frac{y_3}{y_1} \quad (1-1)$$

式中 y_1 ——第一个波的幅值
 y_3 ——第三个波的幅值

从图 1—5 可以看出, ψ 的含义就是同方向的、两个相邻的波的幅值之差 ($y_1 - y_3$) 与其中较大的波幅 (y_1) 之比值。

根据 ψ 的数值可以很容易地判别控制过程的稳定性。

- (1) 若 $\psi < 0$, 即 $y_3 > y_1$, 则控制过程是发散振荡的, 系统不稳定;
- (2) 若 $\psi = 0$, 即 $y_3 = y_1$, 则控制过程是等幅振荡的, 系统处于临界的不稳定状态;
- (3) 若 $0 < \psi < 1$, 即 $0 < y_3 < y_1$, 则调节过程是衰减振荡的, 系统能达到稳定;
- (4) 若 $\psi = 1$, 即 $y_3 = 0$, 则控制过程是非周期过程, 系统也能达到稳定。

由上述可知, $\psi > 0$ 时系统是稳定的。然而也不能认为 ψ 值愈大系统就愈能稳定, 例如当 $\psi = 1$ 时, 其过程延续时间长, 动态偏差也大。热工参数控制过程的实践表明, $\psi = 0.75 \sim 0.9$ 的衰减过程比较好, 因为这样的衰减过程在开始阶段的变化速度比较快, 被控量在受到扰动后能较快地达到一个高峰值, 然后就立即下降并较快地达到一个低峰值。轮机人员看到这种现象后便可知道被控量振荡几次就会趋于稳定, 而且最终的稳定值必然在高、低峰值之间而不会超过这个范围, 更不会有造成事故的危险。衰减振荡的这一特点对反应较缓慢的情况尤其重要。因为反应较慢的系统, 如果其控制过程是非周期性的, 即 $\psi = 1$, 那么轮机人员在较长时间内只能看到被控量在一直上升 (或下降), 这就容易造成错觉以致误动作。因此在整定调节器的参数时, 一般将衰减率 ψ 整定在 $0.75 \sim 0.9$, 这是长期实践经验的总结。

另外, 衰减比也是用来表示衰减振荡过程的衰减程度的指标。如图 1—5 所示, 衰减比就是两个同方向的、相邻的前、后波的波幅之比, 即 $y_1 : y_3$ 。最佳过程的衰减比是 $4 : 1$ 到 $10 : 1$ 这个范围, 其对应的衰减率 ψ 就是 $0.75 \sim 0.9$ 。

(二) 准确性

控制过程的准确性可用被控量的动态偏差和静态偏差来表示。

1. 动态偏差 动态偏差是指整个控制过程中被控量偏离给定值的最大短期偏差, 即图 1—5 所示曲线的第一个波峰的高度 $y_{\max}$ 。如果动态偏差越大, 偏离的时间越长, 说明系统的被控量偏离规定值就越远。对于热工参数的控制过程, 在实际可能出现的最大扰动下, 被控量的动态偏差不应超过正常运行所允许的范围。

2. 静态偏差 (稳态偏差) 静态偏差是指控制过程结束后, 被控量与给定值的偏差。静态偏差也叫残余偏差, 简称余差, 其值可以为正也可以为负, 而对其绝对值的大小则一般要求愈小愈好。

总之, 自动控制系统的被控量的偏差 (动态偏差、静态偏差) 的大小表征了该系统控制作用的准确性。

(三) 快速性

快速性可用控制过程时间、自然振荡频率或周期来表示。

1. 控制过程时间 控制过程时间就是从扰动发生起至被控量经过控制达到新的稳定状态为止的这段时间。一般地, 总是希望控制过程时间要尽可能地短, 这样才能保证在下次扰动到来的时候, 上一次扰动所引起的控制过程就已结束。严格地说, 被控量完全到达新的平衡状态需要无限长的时间, 但实际上由于调节器灵敏度的限制, 在被控量接近稳定值后, 测量仪表就显示不出被控量还在变化, 调节器也不能对被控量的微小变化作出反应, 从而把这时的状态看成是控制系统稳定下来了。仪表上看不出参数变化的这个区域称为“不