

# 船舶机舱自动化

上册

陈 鸿 廖

上海海运学院



## 前 言

本教材是根据我院轮机系自动化教研组讨论通过的船舶机舱自动化教学大纲以及船舶机舱自动化最近发展情况进行编写的。

全书分成上、下两册。上册为自动化仪表及单参数定值调节系统，下册涉及到机舱故障报警设备以及船舶推进设备的自动化。

本教材可供轮机管理专业或其他相关专业作为教材用，也可用于培训轮机人员、或作为自学参考书。

上册由上海海运学院孙季宽副教授负责审阅，在此谨致谢意。

由于作者水平有限，在编写的同时又负有教学任务，时间比较仓促，不妥之处在所难免，特恳请读者批评指正，以便及时予以订正。

1986年10月

# 目 录

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 课程概述.....                     | 1   |
| <b>第一部分 单参数定值自动调节系统和自动化仪表</b> |     |
| <b>第一章 单参数定值自动调节系统</b>        |     |
| 1—1 开环和闭环.....                | 4   |
| 1—2 调节过程的质量指标.....            | 10  |
| 1—3 模拟式调节单元的调节规律.....         | 11  |
| 1—4 调节对象特性.....               | 24  |
| <b>第二章 检测传感器和检测装置</b>         |     |
| 2—1 概述.....                   | 29  |
| 2—2 检测传感器和检测装置                |     |
| 一、弹性元件及其传感器.....              | 31  |
| 二、触点传感器.....                  | 43  |
| 三、气动元件及其传感器.....              | 45  |
| 四、膨胀式传感器.....                 | 68  |
| 五、充填式传感器.....                 | 68  |
| 六、浮子式传感器.....                 | 77  |
| 七、电阻式传感器.....                 | 80  |
| 八、电感式传感器.....                 | 85  |
| 九、电容式传感器.....                 | 89  |
| 十、磁电式传感器.....                 | 91  |
| 十一、压电式传感器.....                | 93  |
| 十二、霍尔传感器.....                 | 94  |
| 十三、热电偶.....                   | 94  |
| 十四、光电传感器.....                 | 99  |
| 十五、火警检测装置.....                | 101 |
| 2—3 船舶机舱中检测传感器的应用情况 .....     | 107 |
| <b>第三章 气动自动化仪表及气动单元设备</b>     |     |
| 3—1 气源系统及其辅助设备 .....          | 110 |
| 3—2 气动变送单元 .....              | 119 |
| 3—3 气动调节单元 .....              | 138 |
| 3—4 气动执行单元 .....              | 156 |
| 3—5 燃油粘度的调节和自动调节 .....        | 178 |

#### **第四章 电动自动化仪表**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 4—1 与电动仪表配用的常见传感器 ..... | 195 |
| 4—2 电动温度变送单元 .....      | 195 |
| 4—3 电动调节单元 .....        | 209 |
| 4—4 电动执行单元 .....        | 224 |
| 4—5 主机气缸冷却水温度自动调节 ..... | 241 |

#### **第五章 气动模拟显示仪表**

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 5—1 QXZ型色带指示仪 .....   | 244 |
| 5—2 QXJ型气动记录调节仪 ..... | 247 |

#### **第六章 电—气、气—电信息转换**

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| 6—1 DQ—2型电—气转换单元 .....  | 225 |
| 6—2—DZQ—02型气—电转换器 ..... | 258 |

# 课 程 概 述

从自动化的观点来看,船舶机舱的各种设备同其他工业生产一样,大体上可以划分为两大类,一类是各种机电设备,它们或是被要求达到某种运动状态,或是实现某种能量转换,或是完成某种物质的生产等等,另一类是为信息控制设备,诸如各种不同用途的自动化装置、自动化仪表或是各种类型的组合单元\*。这种伴随机电设备生产流程而存在的各种信息控制设备是机舱自动化所必不可少的。因而熟悉信息控制设备并恰到好处地用来对机电设备实现自动化控制,就成为机舱自动化所要考虑的根本问题。

所谓自动控制就是指在没有人直接参与的情况下,以自动化装置、自动化仪表或是各种组合单元组成的各种信息流程来控制机电设备的整个生产过程,使被控对象达到预定的运动状态或具有所要求的工作状态。自动控制的基本内容除了涉及到已经学过的“自动控制理论基础”课程以外,还涉及到以机械式、气动式、液压式、电动(电子)式以及微处理器等的各类自动控制工具。自动控制以其特有的可靠、安全以及满意的经济性而越来越多地在机舱设备中得到应用,此外还可以改善劳动条件,并使机舱的日常工作量大为减轻,因而也受到轮机工作人员的欢迎,但是机舱自动化的不断发展也对轮机工作人员在业务技术方面提出了更高的要求。

对于各种自动化装置、自动化仪表或是各类组合单元来讲,如果以其不同性质的信息传递和在信息流程中所起的作用来看,我们可以把全部信息流程各有关环节归分成以下六类。

## 1. 信息的检测环节

这主要是指感受检测信息的形式多样的各种传感器,例如用来感受温度、压力、流量、液位、燃油粘度、油雾浓度……等的信息检测环节。

## 2. 信息的变送放大环节

这是信息流程的中间环节,通常就被称为变送器,例如压力变送器、温度变送器……等等。它总是以传感器检测到的微量信息变化作为它的输入,经过必要的信息变换,有的还要求予以必要的放大,以使其输出信息不仅可以满足仪表指示的需要,同时又可以满足相关环节之间规定以标准信息进行传输的要求。

## 3. 信息的显示环节

常见的有各种指示表头、数字显示装置、记录仪器、信号指示灯、声光信号、打印制表以及CRT显示设备等等。它接受有关的传输信息以给出相应的显示或是指示值,以供值班人员进行观察。

## 4. 信息处理环节

信息处理环节包括了各种运算规律的控制器、调节器、微处理器、计算机以及程序控制

---

\*所谓组合单元是指根据功能不同把信息流程中的各个环节分别设计成独立的单元,各个单元之间以统一的标准信号相联系,彼此之间可以进行巧妙组合,形成一个完善的信息系统。目前常见的有气动式和电动式两种系列的组合单元,在实际使用中有很大的优越性。

器等等设备。它以接受反映实际参数变化的信息为输入，完成设计所确定的相关信息 的分析、比较和计算判断等的处理过程，以求给出是否需要进行自动调节的执行指令信息。信息处理环节往往是自动化设备的关键部分。

#### 5. 执行调节的环节

执行调节的环节是信息流程的终端控制部分，它通常接受从信息处理环节引来的给定指令，然后形成该执行调节环节的特定动作，以实现信息流程对动力机器的自动控制作用。各种类型的执行器、大多数的调节伐以及电磁控制伐都属于这一环节。

#### 6. 信息的转换和传输环节

所说的信息转换是指根据设计需要实现各种物理量之间的相互变换，例如：电—电、电—气、气—电、电—液、光—电以及模拟量—数字量、数字量—模拟量的相互变换等等。在信息传输过程中还会涉及到多路传输的切换控制、信息的遥控调节等问题。

#### 7. 辅助装置

不论是采用气动式的、电动式的或是其他技术手段的各功能环节，都要求附设一些必要的辅助设备，以保证信息流程的工作过程变得十分可靠。例如：各种形式的给定环节、辅助操作环节、切换控制、中间继电器等等，都属于这一类。

在应用自动化设备时，除了必须保证可靠以外，还必须考虑以下三项原则，即自动化设应持的有单独的工作体系；持有故障报警及安全保护措施；重要的设备还应该能使备用设备具有自动切换的能力。

自动控制在机舱中的应用情况大体上都反映在机舱无人值班的技术规范中，该规范包括以下各方面的要求。

1. 驾驶室或是集控室对船舶推进装置的遥控操纵设备，它包括主机遥控或是变矩螺旋桨的遥控。

2. 船舶电站自动化。

3. 各重要参数的定值自动调节。

4. 重要辅助设备的自动切换。

5. 机舱内水和火的防患措施。

6. 功能完善的机舱故障报警系统。

从船舶机舱自动化发展的情况来看，它总是同科学技术发展的水平和总趋势相一致的，先进的自动化船舶总是在机舱设备自动控制方面优先采用了先进技术，使机舱自动化在不断发展中更为完美。船舶机舱自动化是从五十年代自动控制程度比较低的单项参数自动调节开始的，以后逐步形成各重要参数的自动调节控制系统，还开始在机舱内起用故障报警设备。六十年代出现了主机的遥控操纵；重要设备在发生故障后可以实现自动切换，以后又有八小时、甚至更长时间的无人值班，以至当前正致力于微机技术应用到整个船舶自动化上面来，并十分注意重要故障的预测预报。我国船舶机舱自动化的发展也有相类似的过程，虽然同先进国家相比还有一定差距，但是各船舶科研单位、设计单位和制造工厂，在船舶自动控制方面都已经取得了可喜的进展。例如上海船舶运输科学研究所根据(78~85)国家科技规划“船舶自动化技术”项目、于79年承担了“新型运输船舶和自动化技术的研究”课题，他们结合上海海运局长顺轮的技术改造，积极开展了船舶机舱自动控制的研制工作，84年年底，在上海召开了鉴定会议，会议对这项能达到16小时机舱无人的首创科研成果给予了充分肯定。又例

如从79年开始；我国船舶检验局上海办事处着手制定并颁布了机舱自动化规范，这对于促进我国造船工业的发展起了重要的推动作用。

船舶机舱自动化课程是轮机专业的一门专业课，根据我校具体情况，本课程的基本内容包括以下三部分。

1. 机舱内各有关热工参数的自动调节问题。
2. 机舱故障报警系统及其设备。
3. 船舶推进装置的遥控操纵。

通过课堂教学、实验以及参观学习，要求掌握和熟悉以下各环节的组成、工作原理、操调管理以及维护保养工作。

- 典型的气动和电动仪表以及由此组成的单参数定值调节系统。
- 机舱故障报警系统。
- 巡回检测。
- 油雾浓度越限报警及火警报警设备。
- 主机遥控。
- 变距桨遥控。

#### ·附注·

根据我国国家计量局通知，有关压力计量单位应以帕[斯卡]为准，该单位以符号Pa表示。本教材涉及到有关压力计量的地方必须采用帕[斯卡]作为计量单位，鉴于我国远洋船队所用大量设备及其图纸资料中有关压力单位仍然沿用公斤力/厘米<sup>2</sup>(kgf/cm<sup>2</sup>)或是巴(bar)，为了便于今后上船工作，特把本教材中常用的若干压力计量单位以(kgf/cm<sup>2</sup>)或(bar)同(Pa)之间的换算关系列写于下。

$$30 \text{ kgf/cm}^2 = 2942010 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$10 \text{ kgf/cm}^2 = 980670 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$7 \text{ kgf/cm}^2 = 686469 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$1.4 \text{ kgf/cm}^2 = 137293.8 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$1.0 \text{ kgf/cm}^2 = 98067 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$0.2 \text{ kgf/cm}^2 = 19613.4 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$30 \text{ bar} = 30 \times 10^5 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$10 \text{ bar} = 10 \times 10^5 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$7 \text{ bar} = 7 \times 10^5 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$1.4 \text{ bar} = 1.4 \times 10^5 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$1.0 \text{ bar} = 1.0 \times 10^5 \text{ 帕[斯卡]}$$

$$0.2 \text{ bar} = 0.2 \times 10^5 \text{ 帕[斯卡]}$$

# 第一部分 单参数定值自动 调节系统和自动化仪表

## 第一章 单参数定值自动调节系统

我们知道：如果按被控制量的变化规律来分，那么自动控制系统可以归分为定值控制、程序控制和随动控制三大类，其中定值控制是机舱自动化中应用得比较多的。为了使机舱内的机电设备能够在值班人员不直接参与下保持正常工况，往往选定一些对被控制对象起决定性影响的热工参数作为自动控制的被调量，例如：

——温度

如：推力轴承的滑油温度；活塞、气缸的冷却水温度；柴油机的排气温度等等。

——压力

如：柴油机的滑油压力；储气罐中压缩空气的压力；锅炉中的蒸气压力等等。

——液位

如：燃油柜、滑油柜、锅炉等设备的液位控制。

——燃油粘度

——机电设备的转速

.....

所有这些参数都被限定在某一允许范围内，所说单参数定值自动调节系统就是指某个单项参数的被调量、在值班人员不直接参与的情况下，由设置在有关机电设备上的自动化装置、自动化仪表或是单元组合来保证该参数总是持有定值控制的全部有关设备。

单参数定值自动调节一般是由被调对象、检测、变送放大、调节以及执行部分等环节组合而成的。

### 1—1 开环和闭环

为了描述自调系统中某些组成环节之间信息流程的传递关系，常常起用简洁而又明确的原理方框图。每个方块就代表处理信息来去的一个功能环节，或被称为功能单元。以箭头方向示意的连接线就表示各环节之间信息传输的走向。通常见到的自动调节系统不仅门类繁多，而且结构形式也是各不相同的，然而它们必然担负了实现某一特定形式的信息传递的，或者说它们都有某一特定的传递函数的，从这个观点来分析，我们可以把原理方框图归分为



以下两类，即所谓的开环和闭环。

### 开环

所谓开环就是指原理方框图上所表示信息控制设备同被控制对象之间的信息流程只存在单向不可逆的串联关系，如图 1-1-1 所示。图中表明：开环控制是指其执行部分在输入指令作用下可以改变被控对象的工况，然后使输出被调量发生相应变化，输出信息只是输入信息单向控制的结果，被调参数对输入信息不可能有任何影响。但是该被调量有可能在外界干扰因素的作用下偏离原先设定的某一给定值。

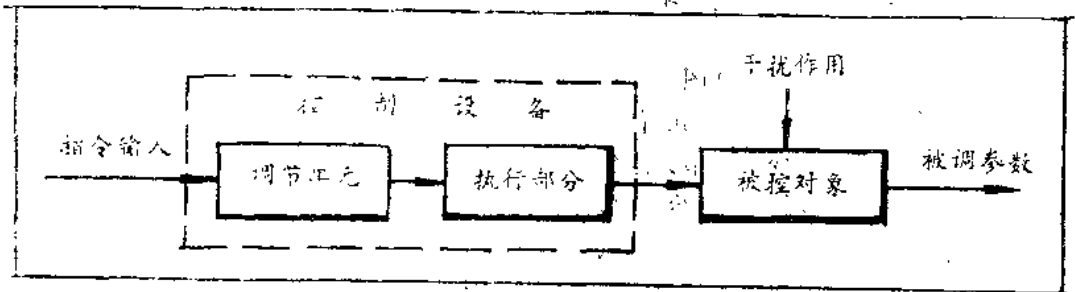


图 1-1-1

几乎所有机电设备的手动操调、自动测量仪表以及通常的故障报警设备等都属于开环控制，严格地说开环并不构成自动调节，在机舱自动化设备中很少有单独使用的。

用于机舱内对主机气缸内平均指示压力的自动检测系统就是开环控制的一个例子。如图

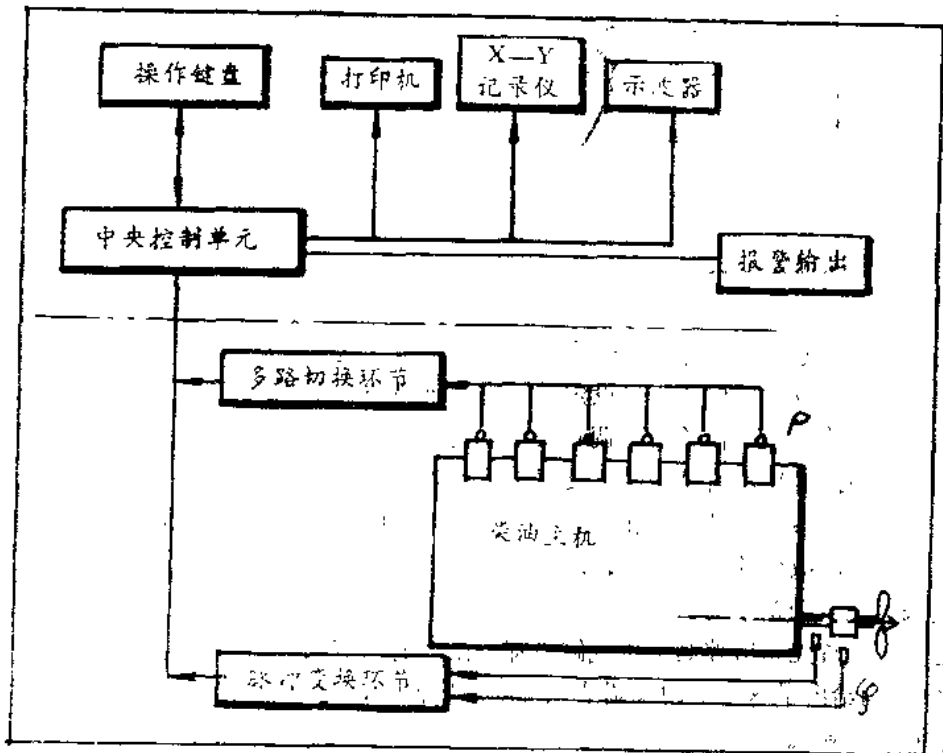


图 1-1-2

1-1-2所示,作为信息测取和变送的环节共有两个。一个是可以连续检测气缸内压力变化的压力变送器(P),它被安装在各气缸缸头的示功测试接头上;另一个是用来测取曲轴转角变化的脉冲发送环节( $\varphi$ ),它被安装在主机的飞轮和推进器转轴附近。这两种不同的信息分别被传送到由微机控制的中央处理单元,由它实现数据的存贮、计算、可用性判断以及发送检测结果和报警信号等工作。整个系统的投运、手动操纵、自动检测等测试项目的选测等等,都是由操作键盘的有关部件来给定的,操作键盘上还设有数字显示器以给出参数测量的数字显示。由中央处理单元发送的检测结果可以分别引向打印记录器、x-y记录仪、示波器以及报警输出控制环节。显然,该系统的测试结果不会对主机工况有什么影响的。

### 闭环

所谓闭环就是指在原理方框图上描述信息控制设备同被控对象之间的信息传递采用了封闭的负反馈的结构型式,这个封闭的信息流程具有单向的特点。图 1-1-3 表明:被调参数经检测传感器量测以后,由变送环节馈送到调节单元的前置比较环节,在这个比较环节中;反映实际的测量值在同指令给定量(给定值)进行比较以后将得出所谓的偏差信号,这样信息控制设备就立即根据偏差信号的大小通过执行单元以某一特定的调节规律来操调被控对象,以使被调参数能符合指令的要求。如果说偏差信号为零,那么该系统就处于稳定状态。所以从某种意义上讲,自动调节系统的操调作用就是由偏差信号在该闭合回路内控制进行的。

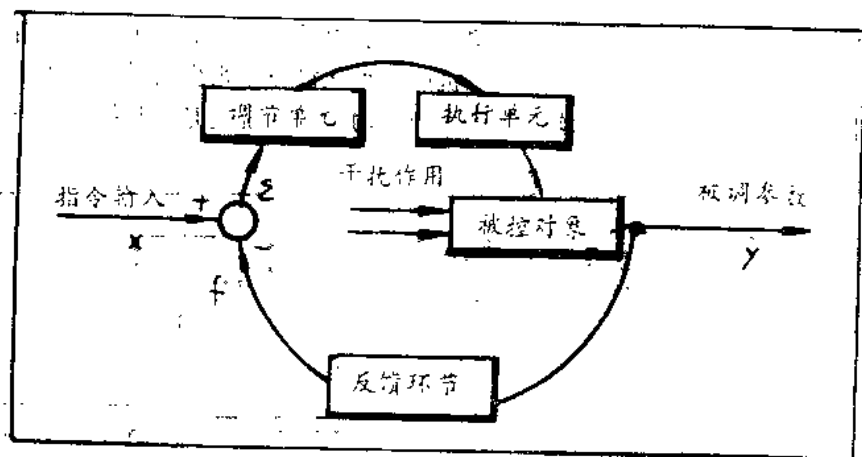


图 1-1-3

在实践中,随机发生的外来干扰是常有发生的,这些干扰往往就是造成系统不稳定的原因,它将使输出被调量偏离原先设定值。有了闭环控制系统就可以通过信息反馈的比较方式来实现自动调节,从而使输出被调量趋于稳定。

还要提到:对输入信号来讲,反馈作用可以起到增强或是抑制的作用,前者被称为正反馈,可用来提高系统的灵敏度和选择性,但易于造成振荡。后者被称为负反馈,可用来提高系统的稳定性,减少畸变与失真,改善频率响应等等。在自动调节的系统设计中,大都是由负反馈来实现自动调节的。

这里我们首先举出控制主机气缸冷却水温度的调节和自动调节作为闭环控制的一个实例。图1-1-4给出了这个电动式调节系统的组成框图,这个框图对其他各种冷却水系统的温度调节具有普遍意义。

我们知道气缸冷却大都采用淡水冷却,如图所示,冷却淡水是由电机驱动的淡水泵(P)

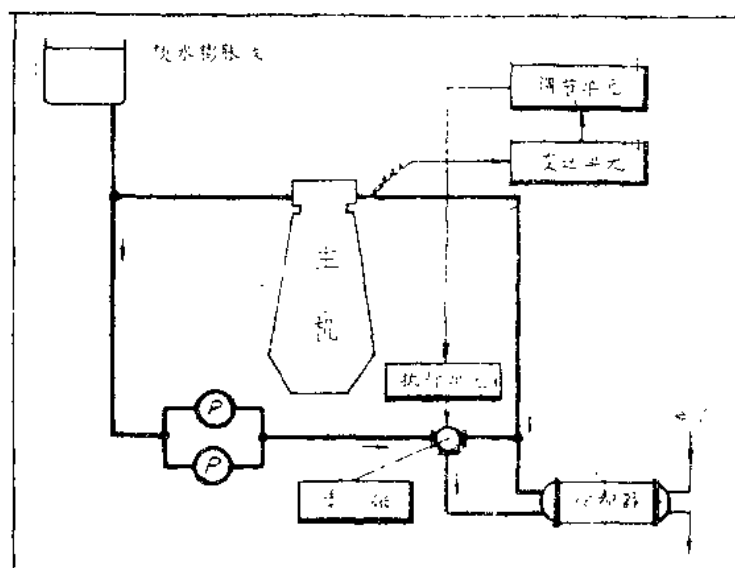


图 1-1-4

来实现循环的。图中：

——淡水膨胀柜是作为冷却水循环中大体上具有恒压头的一个补充水源。膨胀柜的液位则是自动补给的，例如通过浮子式液位传感器和电磁伐来进行液位补给。

——淡水泵通常设有两台，以便在发生故障时，能够对备用水泵进行自动切换。淡水泵应不仅能就地投入运行，而且可以在集控室操纵台上进行远距离操作。

——冷却器则是以海水同冷却水进行热交换的一个关键设备。

对气缸冷却水总是要求在进口处或出口处的温度能保持为某个定值，例如要求进入气缸之前的温度保持为 $45^{\circ}\text{C}$ 左右。在进行手动操调时，进入主机气缸冷却水温度的调节是直接通过分流三通伐以改变去海水冷却器和旁通的分流比例来实现的。至于冷却水自动调节则可以采取各种技术手段进行设计的，例如有气动式、电动式或者是气—电结合的；可以是就地实现自调，也可以是远距离自动操调等等。但是从功能作用来看，它必须具备检测传感器、变送单元、调节单元以及执行部分等组成环节。图1-1-4所示自调系统是由热电阻测温传感器、电动温度变送单元、电动执行单元以及调节伐等组成的。

如果说主机已经处于稳定工况，这时由温度传感器、变送单元引向比较环节的实际温度，将同原先设定的给定值进行比较，在稳定的情况下应该没有偏差信息输出，这时电动执行部分所给出的伐门开度，就能使进入主机气缸处的温度保持为 $45^{\circ}$ 。一旦主机加车，燃油的油门开度就加大，则气缸部分的热交换情况就会有所变化，这样冷却水在打循环的过程中，会使到达主机气缸进口处的冷却水温度高于给定值，温度传感器的阻值就会有相应变化，经变送以后把信息传送到调节单元的比较环节上，比较以后，就会生成偏离给定值的偏差信号，于是调节器就以其被整定了的调节规律向执行单元发出指令信息，这样三通分流调节伐的伐门开度就会受控切换，它一方面加大去冷却器的开度，另一方面则减小旁通通道的流通截面，使主机气缸进口处的冷却水温度得以降下来，能重又满意地稳定在所要求的 $45^{\circ}\text{C}$ 温度上，这时比较环节所给出的偏差又会趋于零值。

假如主机气缸冷却水的温度低于给定值，那么三通分流调节伐就会出现同上述过程完全

相反的自动操调，同样可以实现温度定值自动调节。

我们再举一个燃油粘度调节和自动调节系统的例子，该系统的自动调节也是以闭环的反馈控制理论为基础的。如图 1-1-5 所示，这个气动式粘度自动调节系统是由燃油测粘计、平衡三通、气动变送、调节以及执行部分组成的，其他还可以辅以温度指示器、粘度指示器、粘度记录仪、越限报警设备以及过滤减压等的气源设备。

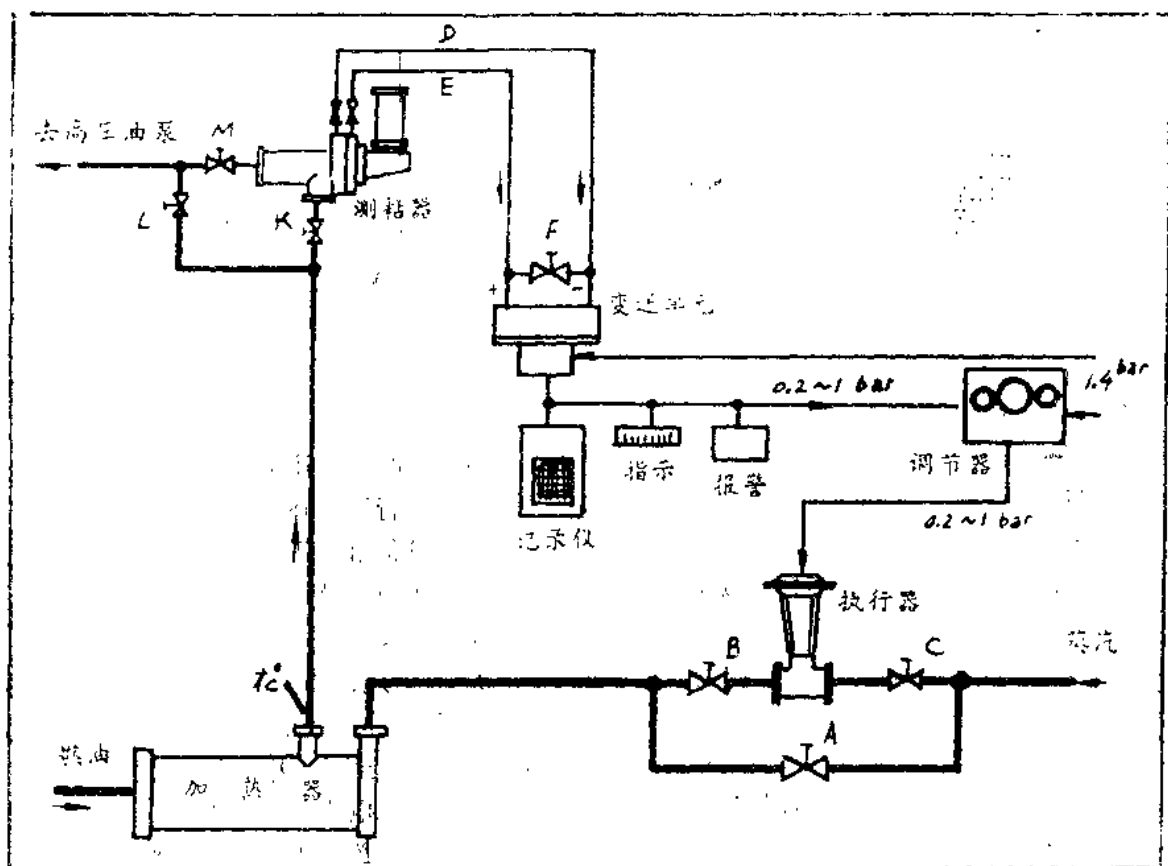


图 1-1-5

如果值班人员把伐 M、K 和伐 B、C 关闭，伐 L 和伐 A 打开，那么就可以进行燃油粘度的手动操调了。

图中，燃油是从燃油泵输送到燃油加热器的，蒸汽则是通过伐 A 再被送到燃油加热器，两者之间在这里进行热交换，以给定燃油的温度。值班人员的手动操调常常只是检测并控制燃油的温度，就是操调蒸汽调节伐 A 的开度，从而使燃油粘度间接地得到调节。

在进行粘度的自动调节时，应把伐 M、K 和伐 B、C 打开，伐 L 和伐 A 应予关闭。在这种情况下，测粘计将提供反映粘度高低的差压信号，然后经过平衡三通把差压信号加到变送单元，该单元就会给出一个反映实际粘度大小的压气信号，这个信号进入调节器并同给定值进行比较，以决定是否给出偏差信号，调节和执行部分就会在偏差信号控制下产生相应的动作，即由蒸气调节伐来改变它的开度，以使加热器的热交换情况相应得到改变，从而达到控制实际粘度的目的。

前面提到的自动调节系统都是由自动化设备、自动化仪表或是一些功能单元组合而成

的，虽然被应用的设备种类繁多、结构各异，不论是电动还是气动的，都各自为实现某一特定形式的信息传递而进行工作的，或者说它们都持有某特定的传递函数的。如果我们从设备、仪表及功能组合单元的结构组成特点和信息传递流程来看，还可以把它们归分成所谓开环仪表和闭环仪表两类。

开环仪表通常是由两个基本环节组成的，即由传感器信息的输入环节和变送放大环节串联而成。图 1-1-6 所表示的就是开环仪表的结构组成框图。信息  $X_{sr}$  从传感器信息输入环节的输入端 1 引进，该输入环节的作用是对存在的被测信息及其变动情况进行检测，并根据输入环节本身的设计特性给出相应的检测量  $X$ 。例如波纹管式弹性元件常可用来感受一个压气信号，并把压气信号变换一个相应的位移量或是力的作用。又例如通过热电阻可以用来感受一个温度信号，从而给出一个相应变化了的电阻值。开环仪表中设置变送放大环节是为了使仪表能从输出端 2 给出具有设计所要求的输出信号  $X_{sc}$ ，或者就用来使检测显示机构给出指示。

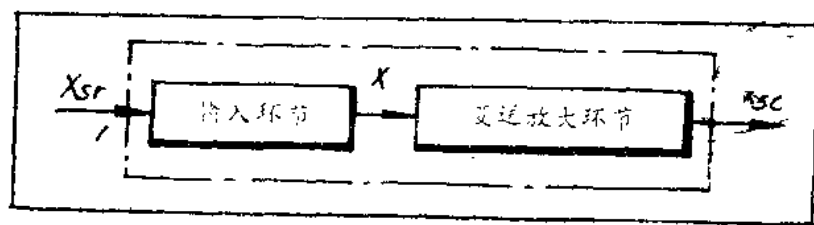


图 1-1-6

描述框图结构中信息传递的情况可以用传递函数来予以表达，在“自动控制理论基础”课程中曾经指出：开环系统组成的整机传递函数是各串联组成环节传递函数的相乘积，即  $W(S) = W_1(S) \cdot W_2(S)$ 。该传递函数关系式表明：要使开环组成的仪表获得理想的灵敏度，可以通过分别提高各串联组成环节灵敏度的办法来达到，这一基本关系显然对提高仪表的灵敏度是十分有用的。但是从仪表的结构设计角度来看，组成开环仪表的各个环节，都必然存在着或多或少的误差，包括各环节的系统误差和偶然误差，那么这些环节的相对误差都会对仪表的精度有影响，因为开环仪表的相对误差是各环节相对误差的代数和。显然环节越多，系统的相对误差也就越大，这就使开环仪表不容易得到理想的高精度。尽管可以通过某些设计手段，例如可以把某一环节的系统误差设计成与其他环节呈正、负符号相反的值以取得相互抵销的效果，但是开环仪表在灵敏度和精度之间的矛盾仍然是存在的。

闭环仪表通常是由四个基本环节组成的，即输入环节、比较环节、变送放大环节以及反馈环节组合而成的。图 1-1-7 给出了闭环仪表的结构组成框图。与开环仪表相比较，它在结构上要复杂一些，由于闭环仪表设置了反馈环节和比较环节以使它比开环仪表具有更多的优越性。在自动控制理论分析中提到的反馈原理曾经指出过：如果闭环系统中变送放大环节的放大能力足够大，那么该系统的传递函数就可以认为是反馈环节传递函数的倒数，即  $W(S) = \frac{1}{W_f(S)}$ 。如果我们从仪表的灵敏度和精度角度来评价闭环仪表，那就可以引出以下结论，这就是：仪表的灵敏度和精度将主要由反馈环节的特性来决定。由于负反馈结构可以使主回路和反馈回路中的存在误差具有相反的符号，相互间有可能互为补偿，而且使仪表的动态稳定性方面也能得到理想的改善，因而在实用上负反馈的闭环仪表应用得极为普遍。

如图 1-1-7 所示，输入信号  $X_{sr}$  在进入输入环节以后，变换成相应的实际检测信号  $X$ ，该

实际检测信号 $X$ 是与输入信号 $X_{sr}$ 呈线性关系的。反馈信号 $X_f$ 则是与输出信号密切相关并通过反馈环节而给出的，实际检测信号和反馈信号在比较环节实现比较，比较环节的基本功能就是依线性规律进行迭加，或者说比较环节引出的信号 $X_c$ 是输入信号 $X_{sr}$ 和反馈信号 $X_f$ 的代数和。常见的有电压比较，力（力矩）比较，位移比较等等。变送放大环节的功能情况和开环仪表是类似的，主要是把比较环节给出的综合信号 $X_c$ 进行必要的放大，例如电压放大、气压放大、流量放大等等。

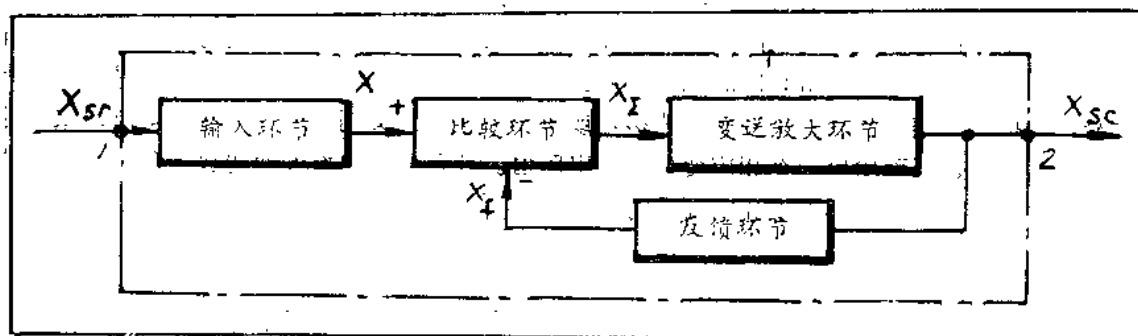


图 1-1-7

至于反馈环节，由于在原理上已经指出了它的重要意义，因而设计不同特性的反馈环节都是经过精心考虑的，例如常用的各种类型的调节器，就设计有各种不同运算规律的反馈环节，以使调节器可具有诸如比例、积分、微分等各种调节规律的功能，以满足系统对调节器的要求。

在学习自动化装置、仪表以及组合单元的时候，可以把注意力集中在熟悉结构（包括：机构、气路、电路），分析它们的组成（开环仪表或是闭环仪表），以及如何由这些组成环节来实现所要求的各种功能。

## 1-2 调节过程的质量指标

在自动调节系统中一个被调参数的调整过程就是该参数从偏离稳定状态变换到重新被稳定这一全过程，这个被调参数随时间变化而改变的过程被称为动态过渡过程。这个过程的质量好坏在很大程度上是问调节器的基本特性密切相关的，那么如何来评定一个调节过程的好坏呢？这在工程技术上常常以稳定性、准确性和快速性这三个指标来给予综合评定的。

### 一、稳定性

所谓稳定性就是用来评定被调参数在过渡过程中量值变化的衰减情况的，衰减得快、稳定性就好，反之则差。图 1-2-1 给出一个典型的过渡过程情况，为了宏观地评定稳定性的好坏，常常藉助于

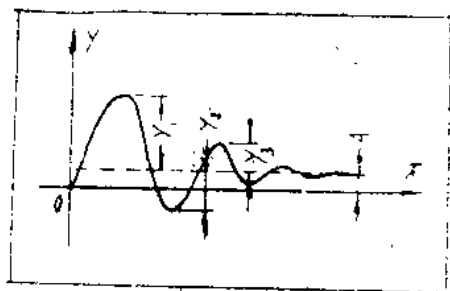


图 1-2-1

被测参数的衰减度  $\psi$  来表示的，就是以一开始出现两个振荡周期首次波幅的差值同第一个出现的波幅之比，它可以写成以下关系式。

$$\psi = \frac{y_1 - y_3}{A + y_1}$$

$$\text{若 } A = 0, \text{ 则 } \psi = 1 - \frac{y_3}{y_1}.$$

式中,  $y_1$ —第一个周期的首次波幅。

$y_2$ —第二个周期的首次波幅。

A—被调参数有余差时的情况。

这一表达式表明: 实际过渡过程的特性曲线将有可能出现以下四种情况。

1. 临界情况, 即  $\psi = 0$ ; 它表示在特性曲线的变动过程中两个周期的首次波幅是彼此相等的, 这就给出了一个等幅振荡的临界特性曲线, 显然该系统只能处于不稳定状态。

2. 发散情况, 即  $\psi < 0$ ; 它表示在曲线的变动过程中出现了  $y_2 > y_1$  的情况, 这种随着周期增多而振幅益发加大的特性曲线就被称为发散情况, 在这种情况下系统是不可能稳定得了的。

3. 非周期情况, 即  $\psi = 1$ ; 这意思是说第二个周期根本不再出现, 当然也就不会有第二周期中的什么波幅了, 就形成所谓的非周期情况。这种过渡过程一般有可能慢慢趋向稳定。

4. 衰减振荡, 即  $0 < \psi < 1$ , 这时过渡过程中的第二个周期首次振幅  $y_2$  必须符合以下不等式关系。

$$0 < y_2 < y_1$$

这个衰减率  $\psi$  所描述的就是一种衰减振荡情况, 该自调系统总是会达到稳定状态的。

在机舱单参数的定值自动调节系统中所出现的过渡过程, 大多数应该属于这一类。在这种情况下衰减度  $\psi$  通常可以在 0.75~0.95 的范围内选用, 或者说可以根据观察以一开始出现两个周期的首次幅值为依据, 使它们之间的最佳比值落在 4:1~10:1 的范围内, 这样就可以得到十分满意的调试结果了。

## 二) 准确性

在一定意义上来说, 自动调节系统中被调参数的准确性就是它同予先设定的量值之间是否相一致的问题, 对于具衰减特性的过渡过程来看, 我们可以列出两个具代表性的偏差情况用以表微调节过程的准确程度。一个叫做动态偏差, 这是指被测参数第一个周期首次出现波幅的那个瞬时值, 这个瞬时值应该落在相应允许偏离的范围内, 而且出现的时间长短有一个适当的值, 另一个叫做静态偏差, 这就是系统在趋于稳定以后残留的偏差值, 这个余差是否允许有; 或是允许给定有多大, 都是由一定的准确度所要求的。

## 三) 快速性

快速性是对过渡过程以其全部时间的长短来作为调节质量评定的又一个指标。这个时间是从发生扰动时算起, 直到被调参数经过调节重又回到稳定状态时为止。叙述这个定义是很容易的, 但是实践中确定这段时间却是比较困难的, 这是因为被调参数重新回到设定值上来将要求有一个长时间的等待, 再加上系统中各功能环节又会有不灵敏区等实际问题, 所以这个过渡过程所花费的时间也仅是一个公认为足够精确的估算而已。从自动调节的实用意义来看: 这段时间显然是越短越好。

在一个自动调节系统中, 这三个质量指标既是独立而又相互有影响的, 对这三个质量指标有影响的因素是比较繁杂的。我们除了必须熟悉被控制对象的工艺变化特点以外, 还必须熟悉各种调节规律, 掌握调节器以及充分发挥所选用调节器的潜力, 这里主要是指调节器中各调节环节有关参数巧妙的整定工作, 以求得到满意的调节质量。

## 1-3 模拟式调节单元的调节规律

调节单元在自动调节系统中是一个关键性的功能单元, 它将影响系统的过渡过程, 这种

动态过程常常可以用微分方程、传递函数、频率特性以及阶跃响应等分析方法给出描述,从信息传递的特点来看,调节器可以有模拟式或数字式两大类,目前在船舶机舱内用得比较普遍的还是模拟式调节器,这些调节单元的输入信号都是连续变化的,其输出操调信号则有连续的和断续的两种,其中连续变化的输入往往就反映被控制对象受到干扰作用后被调参数发生变化的实际情况;调节单元就根据其同予先设定了的给定值比较后得出的偏差量进行工作,调节单元的输出操作指令信号将具有该调节单元的调节特性,即输入同输出之间具有特定的传递函数关系,然后通过自调系统的执行部分来控制被控对象,使被调参数得以稳定在某一被要求的设定值上。以下就以连续输出和断续输出两种情况分别来进行介绍。

### 一) 常见连续输出的几种调节规律

#### 一、比例调节规律(P)

所谓比例调节规律就是在实际被调参数偏离给定值以后,调节单元可以根据出现的偏差立即成比例地给出相应变化了的输出操调指令信号,使被调参数向着消除偏差的方向发生变化,以求重新出现新的稳定工作状态。

比例调节规律可以用以下关系式来表达。

$$y - y_0 = k_p \cdot e$$

式中;  $k_p$ —比例放大系数,它是为常数项。

$e$ —偏差; 调节单元的输入信号。

$y - y_0$ —调节单元的输出操调指令信号。

比例调节单元的传递函数

$$W(s) = \frac{y(s)}{x(s)} = k_p$$

如果用频率特性来表示

$$W(j\omega) = k_p$$

图 1-3-1 给出比例调节的阶跃响应情况,这里我们设定偏差输入为一个阶跃函数,这个函数可以表达为

$$e(t) = \begin{cases} 0; & \text{在 } t < 0 \text{ 时,} \\ e; & \text{在 } t \geq 0 \text{ 时} \end{cases}$$

那么该调节单元的输出操调指令信号就是

$$y = y_0 + k_p \cdot e$$

表示比例调节单元基本特性的就是一个比例放大系数,但是在调节单元投入使用时,往往采用所谓比例带(比例度)的概念,它可以用来描述比例调节作用的强弱,它是输入的相对变化量同输出的相对变化量之间的比例、并乘以100%,或者说它可以用来表明输出变化全范围(100%)时所对应输入应改变的百分数,它可以被表示如下。

$$\text{输入相对变化量: } \frac{e}{x_{\max} - x_{\min}}$$

$$\text{输出相对变化量: } \frac{y - y_0}{y_{\max} - y_{\min}}$$

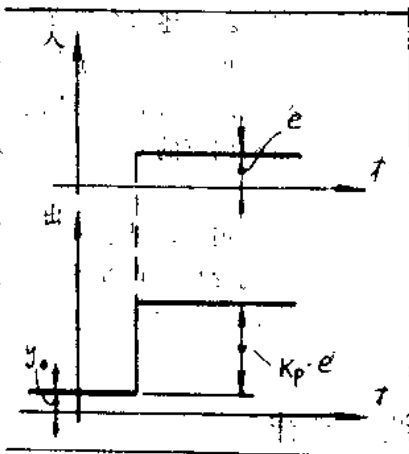


图 1-3-1



$$P = \frac{e}{\frac{X_{\max} - X_{\min}}{y - y_0}} \cdot 100\%$$

$$= \frac{e}{y - y_0} \cdot \frac{y_{\max} - y_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \cdot 100\%$$

式中:  $X_{\max}$ ;  $X_{\min}$ 和 $y_{\max}$ ;  $y_{\min}$ 是指调节单元输入和输出的极限值,例如目前气动单元大都采用 $(0.2 \sim 1.0) \text{ kgf/cm}^2$ 标准传输信号;电动单元通常采用 $(0 \sim 10) \text{ mA}$ 标准传输信号,也有以输出取为 $(4 \sim 20) \text{ mA}$ 的,因而可以认为:

$$\frac{y_{\max} - y_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} = 1$$

那么比例带(比例度)就可写成

$$P = \frac{e}{y - y_0} \cdot 100\%$$

我们已经知道:  $y - y_0 = k_p \cdot e$ , 所以最终可以写出

$$P = \frac{1}{k_p} \cdot 100\%$$

这表明比例带(比例度) $P$ 同比例放大系数 $k_p$ 是彼此互为倒数的,比例放大系数 $k_p$ 越大,则比例带(比例度) $P$ 就越小。

比例带(比例度) $P$ 是调节单元的一个可调量,在投入工作之前是允许进行调节整定的,整定结束以后,它就是一个定值。不同的比例带(比例度)就会影响调节单元输出对输入不同强度的反应情况。如图1-3-2所示。

——比例带(比例度) $P = 100\%$ ,意思是说若要调节单元输出变化 $100\%$ 时,则相应输入的变化亦应是 $100\%$ 。

——比例带(比例度) $P = 50\%$ ,就是就若要调节器输出变化同样是 $100\%$ ,则相应的输入变化却只要求 $50\%$ 。

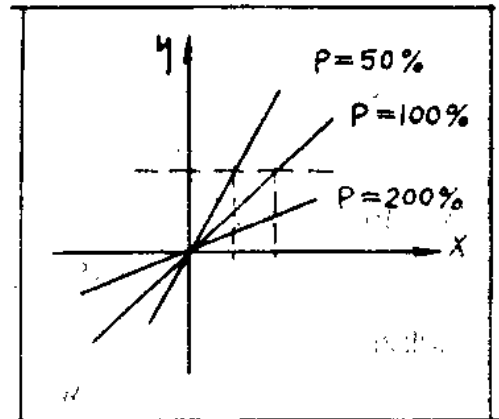


图 1-3-2

在比例调节规律中有一个问题是要注意到的,那就是这种调节单元的输出操调指令是同

偏差输入成正比关系的。外界对被控对象的干扰作用将使系统的被调参数偏离给定值,这就必然引起调节单元输出操调指令的改变,以求被控对象重又获得一个新的平衡,但是新的已经不再是原先的那个平衡状态了,它们之间总会持有某个差值,可以认为这个差值就是由不同强度的干扰所对应的,这个差值就被称为静态偏差,或者就称其为余差。

比例调节单元所给出被调参数的余差应具有以下规律,即干扰作用越大,余差也大;反之则小。如果在相同的干扰作用下,那么余差的多少将和比例带(比例度) $P$ 的大小相对应的,比例度(比例带)越大,余差就越大。图1-3-3就描述了相同的干扰作用下不同比例带(比例度) $P$ 的可调选用所具有实际指导意义。

综合以上所述,比例调节规律具有以下一些特点。

——调节单元的输入—输出关系之间没有时间延迟。