



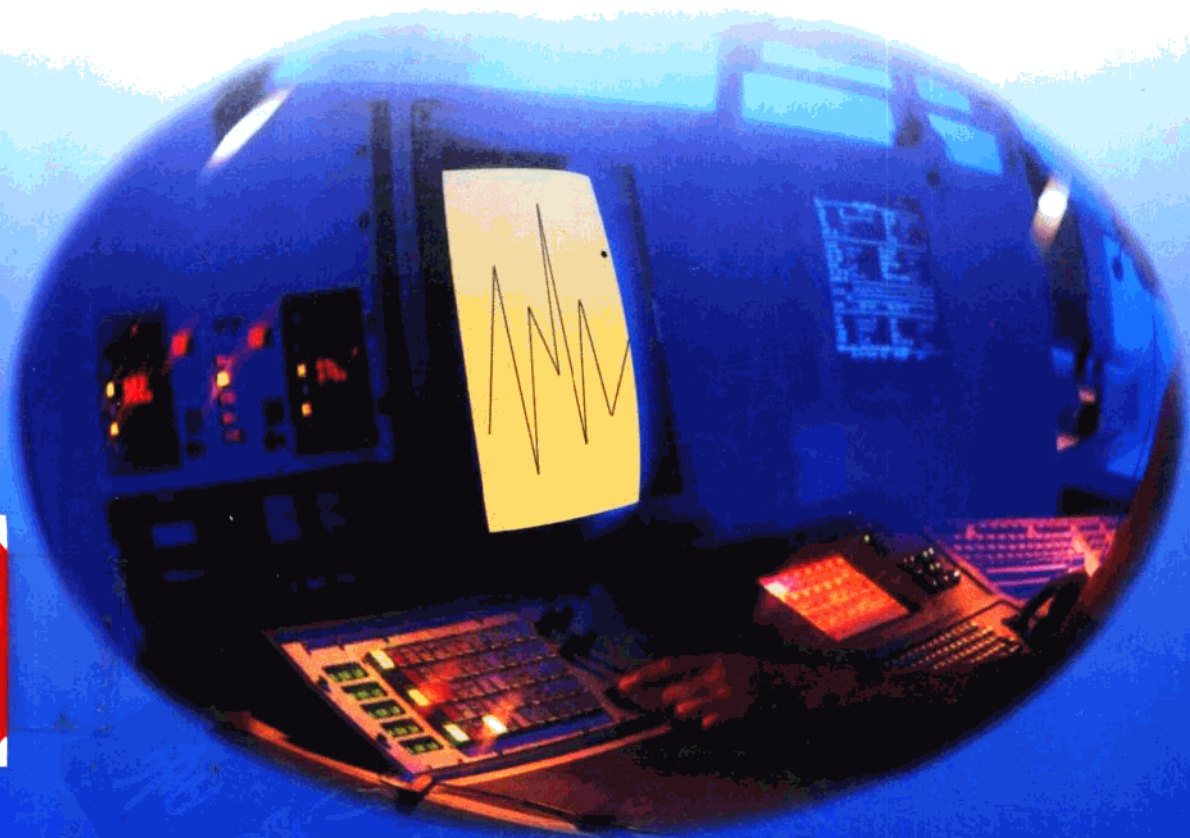
高等学校统编教材

符合 STCW 公约要求  
航海类专业教学指导委员会推荐  
交通部科技教育司审定  
中华人民共和国海事局认可

# 轮机自动化

郑凤阁 主编

沈鼎新 主审



大连海事大学出版社

高等学校统编教材

# 轮机自动化

郑凤阁 主编

沈鼎新 主审

大连海事大学出版社

**图书在版编目(CIP)数据**

轮机自动化/郑凤阁主编.-大连:大连海事大学出版社,1998.8

ISBN 7-5632-1226-4

I. 轮… II. 郑… III. 船舶-轮机-自动化系统-高等学校-教材 IV. U676.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 19728 号

**大连海事大学出版社出版**

(大连市凌水桥 邮政编码 116026 电话 4684394)

大连海事大学印刷厂印刷

大连海事大学出版社发行

1998年12月第1版

1998年12月第1次印刷

开本:787mm×1092mm 1/16 印张:16

字数:399千字 印数:1~5000册

责任编辑:金以铨

封面设计:王艳

责任校对:书严

版式设计:王瑞国

定价:23.80元

## 内 容 提 要

本书是从我国海洋船舶实际情况出发,结合在船舶中所应用的先进科学技术,以《轮机自动化基础》及其他课程所提供的基本理论为基础,着重介绍轮机自动化的应用。

本书共分五章。第一章是反馈控制系统,主要介绍对机舱中各种运行参数的自动控制,如气缸冷却水温度的自动控制、燃油粘度的自动控制及大型油轮辅锅炉水位和蒸汽压力的自动控制。第二章是辅助设备的自动控制,介绍机舱中常用的辅助设备,如柴油机货轮辅锅炉、自动排渣分油机及油水分离器等自动控制。第三章是主机遥控系统的逻辑与控制回路,介绍在主机遥控系统中,停油、换向、制动、起动、调速及转速和负荷限制环节的功能和实现方法。第四章是主机遥控系统实例,主要介绍几种典型主机遥控系统的组成、工作原理及故障诊断。第五章是监视与报警系统,介绍机舱中常用的传感器、报警装置及报警的延伸、微型计算机控制的巡回监视系统等。

本书是水运院校轮机管理专业大学本科和函授本科教材,可作为海洋运输机务部门工作人员、轮机管理人员及船员适任考试培训的主要参考书之一,也可供修造船厂技术人员参考。

## 前 言

“轮机自动化”是从50年代初逐渐发展并走向成熟的一门学科。高等水运院校从60年代初设置这门课程以来,随着科学技术突飞猛进的发展,《轮机自动化》的内容也得到了迅速地充实与更新。多年来,在教学和生产实践中,我们积累了一定的经验,为编写这本书提供了一个较好的基础。

目前,我国船员考试办法和考试内容要与STCW国际公约接轨。为了培养符合STCW公约所要求的管理人才,轮机管理专业教学计划作了较大幅度的调整。其中,把原来的《轮机自动化》课程改为《轮机自动化基础》和《轮机自动化》两门课。为了规范教学内容,提高教学质量,以及提高轮机人员对自动化船舶的管理水平,交通部教育司组织有关专家制定了《轮机自动化》课程统一的教学大纲和教材编写大纲。本书就是依据这份新制定的统一大纲组织编写的。

本书力求在理论与实践相结合,气动控制与电动控制相结合,常规控制与微型计算机控制相结合的原则指导下进行编写,尽量包括新的科学技术成果在轮机自动化中应用的内容。同时,要体现专业特点,突出管理使用这一重点内容。但是,轮机自动化所涉及的内容极为广泛,本书不可能对所有的内容都给予详尽的介绍。而且,某些控制和监视系统,由于新的科学技术发展很快,使其更新换代的周期越来越短,本书内容难以跟上这种快速发展变化的新情况。这些,请读者谅解。

本书共分五章,由李世臣、徐善林、王冬捷和郑凤阁编写。其中,李世臣副教授编写第一章,王冬捷副教授编写第二章(第二节除外)和第五章的第三节,郑凤阁教授编写第二章的第二节及第三章和第四章,徐善林副教授编写第五章(第三节除外)。全书由郑凤阁教授主编,沈鼎新教授主审。

本书是在交通部教育司、大连海事大学和上海海运学院有关领导及高等学校航海类教学指导委员会专家们的指导和关怀下编写的。在编写过程中,得到了各远洋运输总公司、海运公司、海运局及有关兄弟院校的支持与协助,得到了大连海事大学和上海海运学院有关教研室同行们的通力合作,谨在此表示感谢。

由于编者水平有限,时间仓促,书中难免有不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

1998年4月

# 目 录

绪论	1
第一章 反馈控制系统	4
第一节 柴油机气缸冷却水温度自动控制系统	4
第二节 VAF 型燃油粘度自动控制系统	14
第三节 用单片机组成的燃油粘度自动控制系统	22
第四节 大型油轮辅锅炉水位自动控制	33
第五节 大型油轮辅锅炉蒸汽压力自动控制	44
第二章 辅助设备的自动控制	50
第一节 辅锅炉的自动控制	50
第二节 FOPX 型分油机自动控制系统	60
第三节 油水分离器的自动控制	75
第三章 主机遥控系统的逻辑与控制回路	84
第一节 主机遥控系统常用的气动阀件	85
第二节 起动逻辑回路	90
第三节 换向与制动逻辑回路	97
第四节 转速与负荷的控制和限制回路	101
第四章 主机遥控系统实例	121
第一节 气动主机遥控系统	121
第二节 有触点电—气结合主机遥控系统	135
第三节 无触点电—气结合主机遥控系统	147
第四节 用微型计算机组成的主机遥控系统	164
第五章 监视与报警系统	186
第一节 概述	186
第二节 机舱中常用的传感器	190
第三节 曲柄箱油雾浓度监视报警器	198
第四节 报警控制单元及报警的延伸	208
第五节 微型计算机控制的巡回监视系统	218
第六节 分布式微型计算机监控系统的基本原理	232

## 结 论

轮机自动化是指,用各种自动化仪表及控制元件和逻辑元件包括计算机在内所组成的各种自动控制和监视系统。它能部分地或绝大部分地代替轮机管理人员,对机舱中的运动参数进行自动控制、监视、显示、记录和报警;能对所有机器设备的运行状态进行监视、报警和切换;以及对主要机器设备进行自动操作。船舶动力装置与其他各种工程门类一样,自动化水平往往是衡量其技术先进程度的重要标志。

从20世纪50年代开始,自动控制技术在船舶中的应用就比较快地发展起来了,成为船舶技术发展的几个主要方面之一。随着科学技术突飞猛进的发展,新的科技成果在轮机自动化中得到快速和广泛地使用。机舱中各种自动控制与监视系统的种类和数量越来越多,系统的组成和结构越来越复杂,智能化程度越来越高,使管理人员掌握它们的难度越来越大。这就要求轮机管理人员要有较高的文化素质和分析问题、解决问题的能力。现在已把对轮机自动化管理水平的高低,作为衡量轮机管理人员技术水平的重要标志。

轮机自动化的作用是明显的、重要的。首先它大大改善了轮机管理人员的工作条件。在世界和我国,绝大多数在海洋航行的船舶中,都在机舱振动最小的位置设置一个集中控制室,并采取隔音、空调等措施。在船舶航行中,只需一个人在集中控制室值班,观察集中显示的各种机器设备的运行参数和运行状态的仪表,而不必到机舱去巡回检查。在这些船舶中,有一部分是符合“无人值班”标准的(新造船舶均符合“无人值班”标准),轮机人员可在16小时、32小时甚至48小时不需到机舱和集中控制室,而在自己的住室值班即可。这样就可把管理人员从高温、潮湿、振动、噪声的恶劣环境中解脱出来,使他们能有充沛的精力来分析和研究动力装置的运行状况和技术管理等问题。同时他们也会有充分的时间学习一些新的知识。其次它可大大提高动力装置运行及船舶航行的可靠性和安全性。由于机舱中采用自动化技术,各种运行参数始终被控制在最佳值上,所以各种机器设备均处在最佳的运行状态上,这就提高了整个动力装置运行的可靠性,在这方面手动控制是难以做到的。当某些设备出现故障时,如主机滑油失压,自动控制系统不仅能发出声光报警,而且能立即切换到备用滑油泵或滑油滤器投入工作,保证滑油系统不会断油,这就避免了主机烧瓦、抱轴等恶性事故的发生。再比如,驾驶员可在驾驶台利用车钟手柄直接操纵主机,不必先经下达车令再由轮机员操纵主机的中间环节;这就减少了改变主机运行状态所延误的时间,同时也绝对避免了轮机人员在执行车令时的误操作,这对船舶的安全航行是很有好处的。另外,它能大大提高动力装置运行的经济性,降低船舶的营运成本。由于各种机器设备都能处于最佳运行状态,运行效率高,故障率低,降低了油耗,减少了修理费用,延长了船舶停航修理的周期,提高了船舶的营运率,有些资料统计,70年代自动化程度较高的船舶,比50年代自动化程度很低船舶的营运率大约提高14%。同时自动化程度越高,所需船员人数越少,从而减少了对船员工资及其生活费用的支付。

轮机自动化所涉及的内容是十分广泛的,小到对一个参数的控制或对一个设备的自动操作,大到对整个机舱进行全面的控制和管理,这就有自动化程度高低之分。对符合“无人值班”标准的全自动化机舱来说,轮机自动化应包括以下5个方面的内容:

## 1. 反馈控制系统

反馈控制系统的任务是对机舱中所有运行参数进行自动控制,使它们能始终处在最佳值上。在机舱中所要控制的参数是很多的,包括温度、压力、液位、粘度、柴油机转速,以及电站的电压和频率等等。大多数运行参数的最佳值要求保持恒定,如柴油机气缸冷却水温度、锅炉的水位和蒸汽压力、柴油机的燃油喷射粘度等。有些参数的最佳值会随着负荷的变化而变化,这种改变要符合人们预先安排好的规律来改变。

## 2. 远距离控制系统

凡是离开机旁对该机进行操纵的系统均称为远距离控制系统,简称遥控。比如在驾驶台和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、压载泵及开关一些有关的阀门等。对机器设备的遥控,特别是对柴油机主机的遥控,不单单是操纵地点的改变,也不可能是机旁操纵手柄简单的机械延伸。从发送操车指令到柴油机运行状态的改变,其间有一套较复杂的逻辑控制和程序控制系统,通过这套系统保证准确、安全和可靠地遥控机器设备。

## 3. 集中监视和报警系统

机舱中所有的运行参数都要送到集中控制室,并用安装在集中控制室操纵台上的模拟量仪表、数字表及CRT显示器显示这些参数,用指示灯来表示各种机器设备的工作状态及工作是否正常。如果有参数越限,机器设备运行不正常或机舱有火警,都会发出声光报警信号,该报警信号可延伸到轮机长、值班轮机员的住室及全船的公共场所,以便召唤轮机人员及时下机舱处理故障。故障打印机能自动把出故障的时间和内容打印下来存档、备查。在正常运行期间,能定时地自动打印一遍机舱中所有的运行参数,代替轮机人员抄写轮机日志。在操纵主机时,能自动记录车钟的车令。

## 4. 自动开关和自动切换

自动开关是指对某些泵浦和辅助设备控制其正常的断续运动。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。自动切换是指某些泵浦和辅机在运行时发生故障情况下,能自动起动备用泵浦和辅机使之投入工作,自动停止故障泵浦和辅机的工作。

## 5. 安全保护系统

安全保护系统是自动控制系统的必要补充。在运行中发生不正常情况时,自动采取安全措施以免引起严重事故。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,除发声光报警外,安全保护系统会自动降低主机转速,甚至使主机停车。

在轮机自动化中,各种自动控制和自动操纵系统所使用的仪表,气动的、电气的及电子的元件都经在陆地使用考验是可靠的,同时它们还必须符合船舶使用标准(抗振、抗干扰、抗腐蚀)。因此,用它们组成的自动控制和自动操纵系统工作是可靠的,在运行中只要注意对它们进行科学的使用和管理,一般是不会出现故障的。尽管如此,在每个系统中都设有“手动—自动”转换装置。一旦自动系统出现故障,能方便地转为手动控制和操作,以免影响船舶的正常航行。

轮机自动化是随着科学技术的发展而发展起来的。到50年代末期,机舱中所有运行参数都能进行自动控制,即反馈控制系统在船舶中得到广泛的应用。在1960年~1964年间,轮机自动化发展到只需一个人在集中控制室值班的水平。世界上第一艘这样的船舶是日本在1959年建造、1961年下水的8000t级货轮“金华山丸”。该轮在机舱中设有集中控制室,所有运行参数不仅能进行自动控制,还在集中控制室的操纵台上进行集中监视和显示,以及参数越限自



动报警。同时,自动化的内容扩展到可在驾驶台和集中控制室遥控主机,在集中控制室远距离操纵空气压缩机,辅锅炉实现全自动,分油机自动操作,滑油滤器自动清洗等。这艘船舶的自动化内容虽然还不够完善,不尽合理,但由于它改善了轮机人员的工作条件,提高了动力装置工作的可靠性,减少了管理人员而引起当时航运界的极大关注。在这个期间,世界上造了几十艘自动化程度和水平与之相仿的船舶。

从1965年至1969年期间,轮机自动化发展到“无人值班”机舱的水平,即从局部自动化发展到全自动化。它进一步减少了管理人员,改善了轮机人员的工作条件,提高了动力装置工作和船舶航行的可靠性与安全性,充分体现了轮机自动化的作用。在这个期间,柴油机主机的遥控技术发展很快。1966年当时的西德建造了用电子技术实现主机遥控的“无人值班”机舱的船舶,开创了轮机自动化可采用各种先进技术的新领域。随着轮机自动化水平的不断提高,世界上一些海运事业比较发达的国家,其船级社(相当于我国的船舶检验局)纷纷在船舶的入级规范中,增加了有关自动控制、遥控和自动化仪表等为内容的章节,根据轮机自动化程度的不同,制定了不同的入级标准,并相应规定了至少所需的管理人员数。

60年代末期,出现了用电子计算机来实现自动化,当时称为超自动化船舶。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、货物装卸、报务、机舱,甚至医疗等方面都用计算机进行控制和管理。其中有两种方案,一种是全船用一台计算机进行集中控制和管理,另一种是用小型计算机进行分散控制和管理。这两种方案的优劣当时是有争议的,不过在所建造的船舶中均有应用。由于70年代中期,微型计算机的开发和应用得到了迅速发展,其价格逐年降低,所以从70年代末到80年代中,不仅全船,就是机舱也毫无争议地采用微型计算机的分散控制。80年代中期以后,由于单片机得到了广泛应用,同时微型计算机的内存量越来越大,运算速度越来越快,机舱中各种运行参数的自动控制和机器设备的自动操作,均可用单片机组成的所谓智能化仪表来实现,在集中控制室另设一台中心微型计算机,它联系并协调进行分散控制的单片机、微型计算机和可编程序控制器,并对机舱进行统一的技术管理,如人员管理、备件和物料管理、各种机器设备运行状态存档、编制检修预报等。这就是所谓的微型计算机的集散控制,也叫分布式控制。目前,某些国家建造的“驾机合一”船舶,把这种控制方式的自动化水平推向了新高点。但是,轮机自动化的发展是无止境的,不会停留在某一个水平上。今后更高水平的轮机自动化,特别是进一步提高智能化的程度,还需要我们去追求,去探索,去开发。

近年来,我国远洋和沿海船舶轮机自动化的水平有了较快提高,一批老船在逐渐被淘汰,新建船舶和新引进的船舶一般都符合“无人值班”机舱的要求。因此,管理使用好自动化船舶,是科技发展对管理人员提出的新要求。轮机自动化包括的内容极为广泛,它所涉及到的知识也是多方面的。要学习和掌握轮机自动化,首先要学习好自动控制的基本原理,这样才能从种类繁多,结构千变万化的控制和监视系统中总结出一般的规律,达到举一反三的作用。另外,要掌握几种典型的自动控制和监视系统的组成、结构、工作原理和管理要点,这样对其他控制和监视系统就能触类旁通,达到以点带面的效果。此外,轮机自动化是实践性很强的课程,必须重视课程的实验环节。在实验中,除要了解实验设备的结构和工作原理外,重点在于亲自动手进行实际操作;检查和排除故障;调整过程参数,从中体会管理使用好自动化设备的基本思路,使我们对轮机自动化的学习能更深刻、更扎实、更实用。

# 第一章 反馈控制系统

反馈控制是船上常用的一种自动化技术。它也是轮机自动化的重要组成部分。本章介绍在机舱中常用的反馈控制系统,着重介绍所采用仪表的结构,控制系统的工作原理、特性参数的调整方法和常见故障分析,以及控制系统在管理使用中应注意的问题。

## 第一节 柴油机气缸冷却水温度自动控制系统

柴油机在运行时,气缸套和气缸盖几乎都是采用淡水冷却的,把冷却水温度控制在给定值或给定值附近,这对柴油机安全、可靠和经济地运转都是十分重要的。常用的控制方法是,把冷却水分成两部分:一部分通过淡水冷却器,经海水冷却使温度降低;另一部分不通过冷却器,直接与经冷却器的淡水混合,然后进入柴油机气缸的冷却空间。若冷却水温度偏高,则需要减少不经冷却器的旁通水量,增加经冷却器的淡水量,反之亦然。控制这部分淡水量多少的机构是三通调节阀。

根据控制系统中测温元件安装的位置不同,控制系统可以控制冷却水进口温度保持不变或控制出口温度保持不变,其控制原理如图 1-1-1 所示。图(a)中是把感温元件 6 装在柴油机冷却水进口管上,感温元件输出信号与冷却水进口温度成比例变化。感温元件输出信号送入调节器 3,调节器输出的控制信号去动作执行机构 4,即开大或关小旁通阀,把冷却水的进口温度

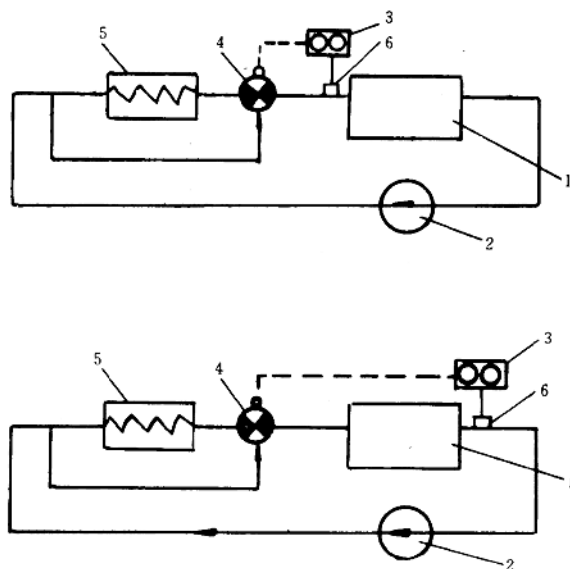


图 1-1-1 气缸冷却水温度控制原理

1-柴油机; 2-淡水泵; 3-调节器; 4-三通调节阀; 5-淡水冷却器; 6-感温元件

控制在给定值或给定值附近。但冷却水的出口温度会随柴油机负荷的变化而有所变化,在超负荷运行时,出口温度将会发生过高的现象。图(b)是把感温元件6装在柴油机冷却水出口处,这时冷却水出口温度可以控制在给定值或给定值附近。但进口温度会随负荷而变化,特别是在负荷增加时,冷却水的进口温度会下降。以上两种控制方案都是正确的,在实际应用中均被采用。

冷却水温度控制系统,有的采用直接作用式,其特点是,它们都不用外加能源,而是根据测温元件内充注的工作介质的压力随温度成比例变化而产生的力来直接驱动三通调节阀,改变流经淡水冷却器的淡水流量和旁通水量;有的采用气动控制系统,利用感温元件和温度变送器,把气缸冷却水温度的变化成比例地转变成气压信号的变化送至调节器,与调节器的给定信号相比较,其偏差信号经调节作用规律运算后,成为调节器输出的控制气压信号去动作三通调节阀。这里仅介绍电动冷却水温度控制系统。

### 一、控制系统的组成及工作过程

该系统的组成和工作过程如图 1-1-2 所示。它是由 MR-Ⅱ 型调节器 1、开关组 2、限位开关

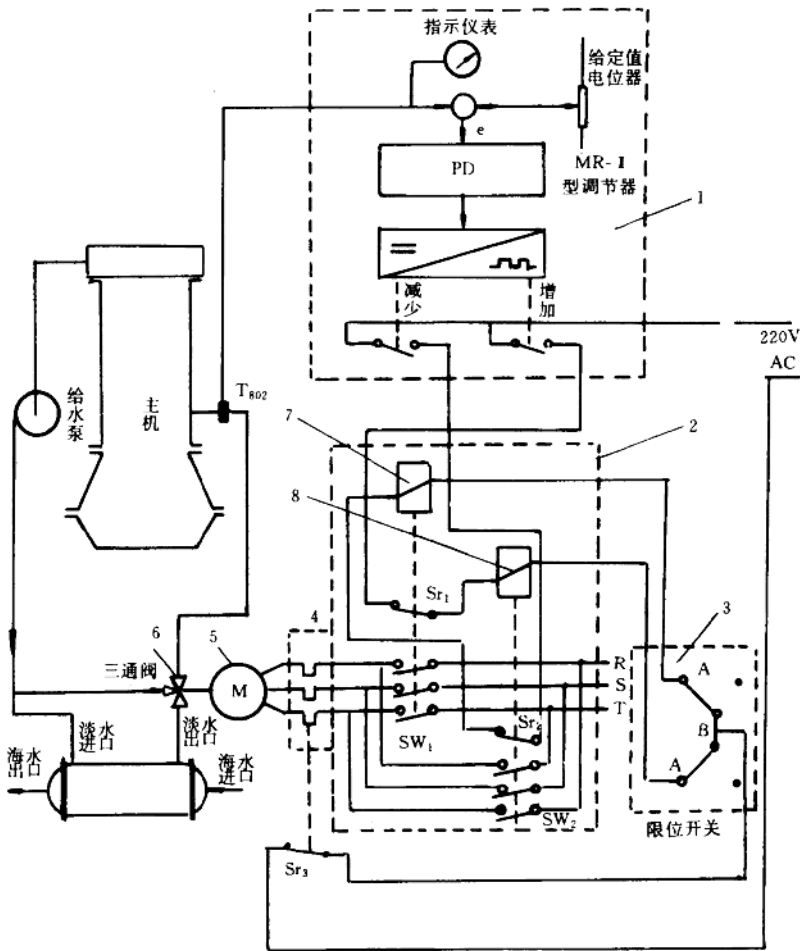


图 1-1-2 用 MR-Ⅱ 型调节器组成的气缸冷却水温度自动控制系统

3、过载保护继电器 4、三相交流伺服电机 M 和由 M 带动的三通阀 6 等部分组成。其中限位开关、过载保护继电器及三相交流伺服电机属于执行机构,装在冷却水进口管路的三通调节阀上。MR-Ⅱ型调节器是电动基地式仪表,它把测量、显示、调节各单元及相应的开关元件均组装在一个控制箱中,并安装在机舱的集中控制室。控制箱中的电路由 6 个部分组成(见图 1-1-3),其中,印刷电路板 MRB 板是输入电路和指示电路;MRV 板是比例微分控制作用电路;MRD 板是脉冲宽度调制电路;MRK 板是继电器和开关装置;MRP 板是主电源电路;MRS 板是稳压电源电路。

控制系统所采用的测温元件是 T802 型热敏电阻,把它插在气缸冷却水进口管路中。T802 型热敏电阻(在 20℃时,其电阻值为 802Ω)与温度变化在一定范围内成线性关系。经分压器分压把气缸冷却水进口的实际温度成比例地转换为电压信号。这个测量信号与由电位器整定的给定值电压信号相比较得到偏差信号 e,经比例微分作用输出一个控制信号,并送至脉冲宽度调制器。脉冲宽度调制器把连续变化的控制信号调制成脉冲信号,若测量温度高于给定值,该脉冲信号使“中间继电器  $Re_1$ ”(见图 1-1-3 中 MRK 板)断续通电,其常开触头  $Sr_1$  断续闭合,“减少输出继电器 7”断续通电,它所控制的触头  $SW_1$  断续闭合,三相交流伺服电机 M 按逆时针方向断续转动。在电机 M 的同轴上经减速装置带动两个互成 90°的平板阀,一个控制旁通水量,另一个控制经冷却器的淡水流量。当电机逆时针转动时,关小旁通阀,开大经冷却器的淡水阀,从而使冷却水温度降低下来。当冷却水温度低于给定值时,脉冲宽度调制器输出的脉冲信号使“中间继电器  $Re_2$ ”断续通电,常开触头  $Sr_2$  断续闭合,“增加输出继电器 8”断续通电,其触头  $SW_2$  断续闭合。于是电机 M 按顺时针方向断续转动使冷却水温度回升。

在“减少输出继电器 7”和“增加输出继电器 8”的通电路中分别串联了“中间继电器” $Re_2$  和  $Re_1$  的常闭触头  $Sr_2$  和  $Sr_1$ ,其作用是互相连锁,防止两个继电器 7 和 8 同时通电。限位开关的作用是,当电机 M 转至接近极限位置时限位开关自动断开,切断电机 M 的电源使电机停转,以免调节阀卡牢在极限位置,造成电机回行时起动电流过大。过载保护继电器的作用是,由于某种故障使电机 M 工作电流过大时,过载保护继电器动作使开关  $Sr_3$  断开。这时继电器 7 和 8 均断电,切断电机 M 的电源,保护电机不会被烧毁。

下面介绍 MR-Ⅱ型调节器的工作原理,如图 1-1-3 所示。

## 二、电源电路

电源电路由主电源电路(MRP 板)和稳压电源电路(MRS 板)两部分组成。

主电源电路是由 220 V 交流主电源供给,并由外部接线端 8 和 9 接入 MRP 板上的 1 端和 17 端。合上电源主开关  $SW_1$  后,220 V 交流电经保险丝  $F_1$  和  $F_2$  送出,指示灯  $D_2$  亮说明主电源正常。其中,一路经接线端 4 和 16 送入 MRS 板上的变压器初级绕组;另一路经手动—自动选择开关  $SW_2$  送至继电器和开关装置的 MRK 板。在自动控制时,按下选择开关  $SW_2$ ,使电源一端经接线端 8 和 15 与电源另一端经接线端 16 对“减少输出继电器”和“增加输出继电器”构成 220 V 交流工作电源;在手动控制时,拔出选择开关  $SW_2$ ,MRK 板上的手操开关  $SW_1$  经接线端 11 与电源的一端沟通。这时可用手操 MRK 板上的开关  $SW_1$  使“减少输出继电器”或“增加输出继电器”通电或断电。

MRS 板是稳压电源电路。变压器初级绕组输入的是 220 V 交流电压,两个次级绕组均输出 21 V 交流电压。该交流电压各自经二极管桥式整流电路、阻容滤波电路和稳压器得到两个上正下负的 16 V 直流电压,将上面稳压电源的负极与下面稳压电源的正极短接并接地,这样

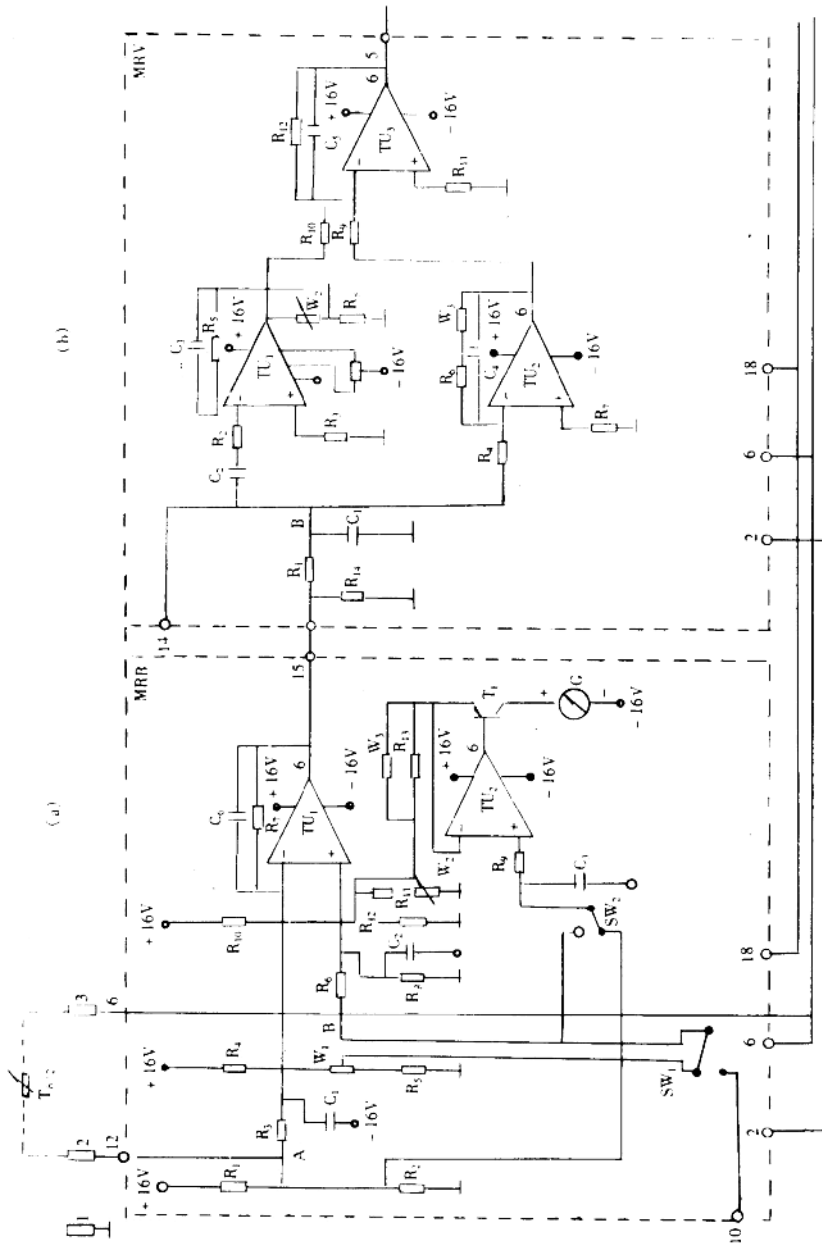


图 1-1-3 MR-II 型电动调节器工作原理图 (a)、(b)

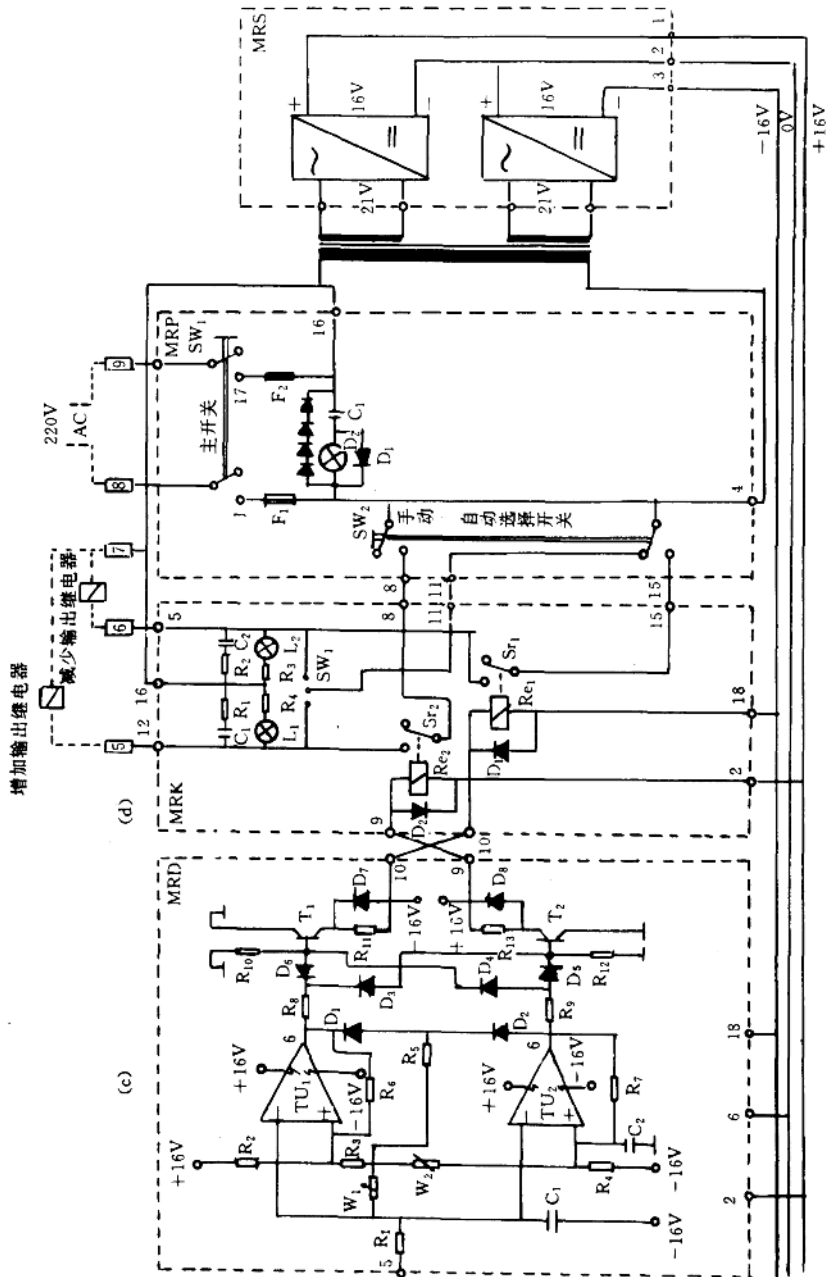


图 1-1-3 MR-II 型电动调节器工作原理图 (c), (d)

就得到对地的+16 V、0 V及-16 V的直流电源,并分别经MRS板上的接线端1、2和3送至各印刷电路板的接线端2、6和18,作为各印刷电路板的工作电源。

### 三、输入电路和指示电路

输入电路和指示电路如图1-1-3中MRB板所示。输入电路的作用是将冷却水温度实际值与给定值相比较,输出一个偏差信号e。它是由测温元件T802型热敏电阻、给定值调整电位器 $W_1$ 、电阻器 $R_3$ 、 $R_7$ 、 $R_6$ 和 $R_8$ 及运算放大器 $TU_1$ 等元件组成。在实际使用过程中将T802型热敏电阻插在气缸冷却水进口管路中,它的两端经外部接线端2和3接在MRB板上的12和6端。假定电阻值 $R_3 \gg R_1$ 、 $R_2$ 和T802,则A点的电压 $U_A$ 为

$$U_A = \frac{R_2 // T802}{R_1 + (R_2 // T802)} \times 16 \text{ V} = \frac{R_2}{\frac{R_1 R_2}{T802} + (R_1 + R_2)} \times 16 \text{ V}$$

式中,电阻 $R_1$ 和 $R_2$ 是不变的,因此 $U_A$ 的大小仅随热敏电阻值T802变化。T802具有负的温度系数,即冷却水温度升高电阻值降低,A点的电位 $U_A$ 将随之降低。当冷却水温度从0℃变化到100℃时,对应的 $U_A$ 值从3.5V变化到1.48V。 $U_A$ 经电阻器 $R_3$ 送至运算放大器 $TU_1$ 的反相输入端。B点的电压 $U_B$ 相当于冷却水温度处在给定值时所对应的电压信号。它是经电阻 $R_4$ 、 $R_5$ 及电位器 $W_1$ 分压得到的。 $U_B$ 经 $R_6$ 加到 $TU_1$ 的同相输入端。调整电位器 $W_1$ 可调整 $U_B$ ,即调整冷却水温度的给定值。 $C_1$ 和 $C_2$ 是滤波电容,可以滤掉两个输入端的交流干扰信号。显然, $TU_1$ 是一个差动输入运算放大器,如果选取 $\frac{R_7}{R_3} = \frac{R_8}{R_6}$ ,其输出信号 $U_{15}$ 为

$$U_{15} = \frac{R_7}{R_3} (U_B - U_A)$$

式中, $(U_B - U_A)$ 就是冷却水温度的偏差信号。当冷却水温度上升并高于给定值时, $U_A$ 降低, $U_B - U_A > 0$ , $U_{15}$ 为正值;当冷却水温度低于给定值时, $U_A > U_B$ , $U_{15}$ 是负值。可见 $TU_1$ 的输出是把偏差信号放大 $R_7/R_3$ 倍送至比例微分控制电路。在 $TU_1$ 的反馈回路中并联了一个电容 $C_6$ ,它相当于在上述的比例环节中串联一个惯性环节,其作用是防止电路振荡,提高电路的稳定性。一般电容 $C_6$ 的值比较小,即惯性环节的时间常数要较小,否则偏差信号会很慢地送到比例微分控制电路,使控制作用不及时。

指示电路是由运算放大器 $TU_2$ 、晶体管 $T_1$ 、电流表G及其他一些电阻电容等元件组成。其作用是,由电流表G指针的读数来指示冷却水温度的测量值和给定值。反映冷却水温度测量值的A点电压 $U_A$ 经转换开关 $SW_2$ 送至运算放大器 $TU_2$ 的同相输入端,反相输入端相当于晶体管 $T_1$ 的发射极的电压值。当冷却水温度升高时, $U_A$ 降低, $TU_2$ 的输出降低,晶体管 $T_1$ 的基极电压 $U_6$ 降低,它的集电极电流增大,使电流表的指针朝增大读数的方向转动。随着 $T_1$ 的集电极电流的增大, $T_1$ 的发射极的电压,即反馈到 $TU_2$ 的反相输入端的电压降低,由于负反馈减弱使 $TU_2$ 输出 $U_6$ 有所增加。这就限制了集电极电流的增大。当 $T_1$ 的发射极电压下降到使 $T_1$ 的集电极电流不再增加时为止,这时 $TU_2$ 的输出 $U_6$ 不再改变,电流表读数也就稳定在比原来高的值上。相反,当冷却水温度降低时, $U_A$ 升高, $U_6$ 升高, $T_1$ 的集电极电流减小,发射极电压升高,负反馈增强,这就限制 $U_6$ 的继续增大。当发射极电压升高到使 $T_1$ 的集电极电流不再减小时为止,这时电流表读数就稳定在比原来低的值上。

电流表的量程是0 mA ~ 1 mA,它所对应的刻度是0℃ ~ 100℃。选择开关 $SW_2$ 可选择指示仪表指示冷却水温度的测量值(开关 $SW_2$ 合于下面)或指示冷却水温度的给定值(开关

SW<sub>2</sub> 合于上面)。选择开关 SW<sub>1</sub> 用于选择冷却水温度给定值是内给定(开关 SW<sub>1</sub> 合于上面)还是外给定(开关 SW<sub>1</sub> 合于下面)。调整电位器 W<sub>2</sub> 可调整电流表 G 零点。因为 T<sub>1</sub> 的发射极电压是由 +16 V 电源经 R<sub>10</sub>、R<sub>11</sub>、R<sub>12</sub> 及电位器 W<sub>2</sub> 分压得到的,通过调整电位器 W<sub>2</sub> 可改变 TU<sub>2</sub> 负反馈电压值。假定冷却水温度为 0 °C, U<sub>A</sub> = 3.5 V, 这时 TU<sub>2</sub> 的输出 U<sub>6</sub> 应使电流表 G 指针指零,若指针不指零,例如大于零,说明 U<sub>6</sub> 太低,这时可调整 W<sub>2</sub> 来降低 T<sub>1</sub> 的发射极电压,使 U<sub>6</sub> 升高直到电流表指针指零为止。W<sub>3</sub> 是测量程电位器,零点调好后,让温度从 0 °C 开始上升,电流表读数随之增大。当温度上升到 100 °C 时,观察电流表指针是否指在 100 °C 上,若指示不到 100 °C,说明量程大了,可调整 W<sub>3</sub> 使 R<sub>13</sub> 与 W<sub>3</sub> 并联电阻值减小,使集电极电流增大,直到指针指在 100 °C 上为止。量程会改变零点,因此量程调好后应再调零点。这样反复两三次即可把零点和量程调准确。

#### 四、PD 控制电路

PD 控制电路如图 1-1-3 中 MRV 板所示。它是由微分运算放大器 TU<sub>1</sub>、比例运算放大器 TU<sub>2</sub> 和综合运算放大器 TU<sub>3</sub> 组成的。由输入电路送来的偏差信号 U<sub>15</sub> 经阻容滤波得到 U<sub>B</sub>, U<sub>B</sub> 就代表了冷却水温度的偏差值。U<sub>B</sub> 分别送至 TU<sub>1</sub> 和 TU<sub>2</sub> 的反相输入端。

微分控制电路是由运算放大器 TU<sub>1</sub>、输入电容器 C<sub>2</sub>、电阻器 R<sub>2</sub> 及反馈网络组成的。在电路中如果没有反馈电容 C<sub>3</sub>,它是一个实际的微分环节。反馈回路电压是 TU<sub>1</sub> 的输出 U<sub>6</sub> 经 W<sub>2</sub> 和 R<sub>8</sub> 分压得到的,即  $U_D = \frac{R_8}{R_8 + W_2} U_6$ , 于是

$$\frac{U_B}{R_2 + \frac{1}{SC_2}} = - \frac{\frac{R_8}{R_8 + W_2} U_6}{R_5}$$

即

$$U_6 = - \left( 1 + \frac{W_2}{R_8} \right) \frac{SC_2 R_5}{SC_2 R_2 + 1} U_B$$

在反馈回路增加电容 C<sub>3</sub> 相当在实际微分环节中串联一个惯性环节,它能增强抗干扰能力,提高电路的稳定性。在运算放大器 TU<sub>2</sub> 的反馈回路中加电容 C<sub>4</sub> 的作用与 C<sub>3</sub> 相同。

比例控制电路是由运算放大器 TU<sub>2</sub>、输入电阻器 R<sub>4</sub> 及反馈回路组成的,如果电路中没有电容器 C<sub>4</sub>,则 TU<sub>2</sub> 的输出电压 U<sub>6</sub>' 为

$$U_6' = - \frac{R_6 + W_1}{R_4} U_B$$

微分环节和比例环节的输出均送至综合运算放大器 TU<sub>3</sub> 的反相输入端。若取 R<sub>5</sub> = R<sub>10</sub>,且不考虑电容器 C<sub>5</sub> 的作用(作用同电容 C<sub>3</sub> 和 C<sub>4</sub>),则 TU<sub>3</sub> 输入与输出的关系式为

$$\frac{U_6' + U_6}{R_9} = - \frac{U_5}{R_{12}}$$

或

$$U_5 = - \frac{R_{12}}{R_9} (U_6' + U_6)$$

$$\begin{aligned} U_5 &= \frac{R_{12}}{R_9} \left[ \left( 1 + \frac{W_2}{R_8} \right) \frac{SC_2 R_5}{SC_2 R_2 + 1} U_B + \frac{R_6 + W_1}{R_4} U_B \right] \\ &= \frac{R_{12}}{R_9} \cdot \frac{R_6 + W_1}{R_4} \left[ \frac{R_8 + W_2}{R_8} \cdot \frac{R_4}{R_6 + W_1} \cdot \frac{SC_2 R_5}{SC_2 R_2 + 1} + 1 \right] U_B \end{aligned}$$

令  $K = \frac{R_{12}}{R_9} \cdot \frac{R_6 + W_1}{R_4}$  是比例微分控制作用的放大倍数;  $T_d = \frac{R_8 + W_2}{R_8} \cdot \frac{R_4 \cdot R_5}{R_6 + W_1} \cdot C_2$  是微



分时间。若  $R_2 \ll R_3$ , 则上式可简写为

$$U_5(s) = K(1 + T_d s)U_B(s)$$

这是比例微分作用规律, 调整电位器  $W_1$  可改变放大倍数  $K$ , 即可整定比例微分调节器的比例带  $PB$ 。调整  $W_2$  可整定微分时间。

通过上面的表达式可见, 比例微分作用的输出, 即 MRV 板的  $U_5$  是与该板的  $U_B$  同极性,  $U_5$  作为脉冲宽度调制器的输入信号送至 MRD 板。

### 五、脉冲宽度调制器

脉冲宽度调制器如图 1-1-3 中 MRD 板所示。脉冲宽度调制器的作用是把 MRV 板送来的连续变化的控制信号调制成脉冲信号, 使“减少输出继电器”或“增加输出继电器”断续通电, 从而使伺服电机 M 按逆时针或顺时针方向断续转动, 改变旁通阀的开度, 把冷却水的温度控制在给定值附近。脉冲宽度调制器是由运算放大器  $TU_1$  和  $TU_2$ 、二极管  $D_1 \sim D_5$ 、晶体管  $T_1$  和  $T_2$ 、控制充放电的电容  $C_1$ 、电阻  $R_1, R_3$  和电位器  $W_1$  及其他电阻等元件组成的。 $TU_1$  和  $TU_2$  的同相输入端分别接由  $+16\text{V}$  与  $-16\text{V}$  电源经  $R_2, R_3, R_4$  及  $W_2$  分压得到的电压。并调整电位器  $W_2$  使  $TU_1$  同相输入端电压为正,  $TU_2$  同相输入端电压为负, 并使这两个电压的绝对值相等。 $TU_1$  和  $TU_2$  的反相输入端电压与电容  $C_1$  充放电中的电压一致。 $TU_1$  和  $TU_2$  分别经  $R_6$  和  $R_7$  接成正反馈, 这样  $TU_1$  和  $TU_2$  实际上是电压比较器, 即反相输入端的电压值大于同相端时, 运算放大器输出负饱和; 当同相输入端电压值大于反相端时, 运算放大器输出正饱和; 同相端与反相端电压相等时, 运算放大器输出为零。运算放大器作为电压比较器其输出是没有其他中间状态的。

当冷却水测量温度等于给定值时, 即 MRB 上的  $U_A = U_B$ , 由于  $U_{15} = \frac{R_2}{R_3}(U_B - U_A)$ , 所以  $U_{15} = 0$ , 则  $U_5 = 0$ 。这时,  $TU_1$  和  $TU_2$  的反相输入端电压均等于零。而  $TU_1$  的同相输入端是一个较小的正电压, 所以  $TU_1$  输出为正饱和电压值, 二极管  $D_6$  和晶体管  $T_1$  均截止, 中间继电器  $Re_1$  的  $-16\text{V}$  电源不可能对地构成通路。因而继电器  $Re_1$  断电, 它的常开触头  $Sr_1$  断开, “减少输出继电器”断电。 $TU_2$  同相输入端是一个绝对值较小的负电压,  $TU_2$  输出为负饱和电压值, 二极管  $D_5$  和晶体管  $T_2$  均截止, 由于  $+16\text{V}$  电源不能对地构成通路, 所以中间继电器  $Re_2$  断电, “增加输出继电器”断电。所以图 1-1-2 中的开关  $SW_1$  和  $SW_2$  均断开, 电机 M 停转。当冷却水温度在给定值附近出现很小变化, 即偏差值  $U_{15}$  很小时,  $U_5$  也很小。若  $U_5$  的绝对值不超过  $TU_1$  和  $TU_2$  同相输入端电压的绝对值, 则  $TU_1$  和  $TU_2$  仍保持原来的输出状态, 电机 M 仍然停转。因此, 调整同相输入端的电压值可调整不灵敏区。不灵敏区不能为零, 否则电机动作频繁。

当测量温度高于给定值并超过不灵敏区时,  $U_{15}, U_5$  的极性为正。 $U_5$  经电阻  $R_1$  向电容  $C_1$  充电, 电容  $C_1$  两端电压不断增加, 其极性为上正下负。这时  $TU_2$  输出仍为负饱和, “增加输出继电器”仍然断电。而  $TU_1$  反相输入端的正极性电压不断增加, 当该电压值高于同相端时,  $TU_1$  的输出就由正饱和和翻转为负饱和, 二极管  $D_6$  和晶体管  $T_1$  均导通。MRK 板上的中间继电器  $Re_1$  通电动作, 它的常开触头  $Sr_1$  闭合, “减少输出继电器”通电, 电机 M 逆时针转动, 关小旁通阀, 开大经冷却器的淡水阀, 使冷却水温度降下来。在  $TU_1$  输出为负饱和的情况下, 二极管  $D_1$  导通, 极性为上正下负的电容器要经电位器  $W_1$ 、电阻器  $R_5$ 、二极管  $D_1$  到  $TU_1$  的输出端进行放电, 电容  $C_1$  两端电压, 即加在  $TU_1$  反相端的电压不断降低, 当其电压值低到小于同相端电压时,  $TU_1$