

自动调节设备

苏州电力工业学校 钱晓华 主编

中国电力出版社

内 容 提 要

本书主要讲述火力发电厂用的热工自动控制仪表。第一至第七章介绍 1151 电容式变送器和 DDZ-Ⅰ 型电动单元组合仪表。第八章介绍 KMM 单回路可编程调节器。第九至第十一章介绍组件组装式仪表,重点介绍 TF 型组装仪表,扼要介绍了 SPEC200 型和 MZ-Ⅲ 型组装仪表。第十二章介绍调节机构。

本书可作为技工学校“自动调节设备”课程的教材,亦可供有关工程技术人员和工人参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

自动调节设备/钱晓华主编.-北京:中国电力出版社,1996
技工学校教材

ISBN 7-80125-134-2

I. 自… I. 钱… II. 自动调节系统-设备-技工学校-
教材 N. TP272

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 03619 号

中国电力出版社出版

(北京三里河路 6 号 邮政编码 100044)

北京市地矿局印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

1996 年 11 月第一版 1996 年 11 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 21 印张 474 千字

印数 0001—2070 册 定价 17.20 元

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书是根据原水利电力部 1988 年 3 月颁发的水利电力技工学校教学计划与教学大纲而编写的, 作为电力技工学校热自专业“自动调节设备”课程的教材。

全书共分十二章。前七章主要介绍 1151 电容式变送器及 DDZ-Ⅰ型电动单元组合仪表。DDZ-Ⅰ型仪表内容包括机械力平衡变送器、温度变送器、DTL 调节器、DKJ 电动执行器、电动操作器、电子开方器及比例积算器等。第八章介绍 KMM 可编程调节器的基本组成原理及应用方法。第九章至第十一章介绍组件组装式仪表, 第九章重点介绍了 B 型 TF 组件组装式仪表的典型电路, 主要功能组件的原理、构成及调校使用方法。第十章和第十一章扼要介绍了 SPEC200 型组装仪表及 MZ-Ⅲ系列模件组装式仪表的基本构成、典型功能组件的作用原理。第十二章介绍调节机构的基本知识。编写时, 力求联系实际, 注意深入浅出, 文字通俗易懂, 努力突出技工教材的特点, 加强动手操作的能力。

本书由苏州电力工业学校钱晓华主编, 其中第二、三、六、七、十二章由湖北省电业技工学校周岩编写, 绪论、第一、四、五及第八至第十一章由钱晓华编写, 湖北省电业技工学校董秀芝参与了第四章的编写工作。全书由临汾电力工业学校杨林盛主审。

在本书编写过程中得到有关生产厂技术人员的热情支持和帮助, 在此一并表示感谢。

由于编者水平有限, 难免有不妥及错误之处, 恳请读者批评指正。

编 者

1993 年 6 月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 压力、差压变送器	7
第一节 概述	7
第二节 电容式变送器的工作原理	8
第三节 电容式变送器的校验及使用	19
第四节 双杠杆机构变送器	23
第五节 矢量机构变送器	33
复习思考题	40
第二章 温度变送器	41
第一节 概述	41
第二节 输入回路	43
第三节 自激调制式直流放大器	50
第四节 负反馈回路	55
第五节 温度变送器校验	58
复习思考题	60
第三章 DTL 型调节器	61
第一节 概述	61
第二节 输入回路	63
第三节 自激调制式直流放大器	65
第四节 上、下限限幅电路	67
第五节 反馈回路	69
第六节 自动跟踪线路	81
第七节 整机综述	83
第八节 DTL-331 型调节器的校验及故障分析	84
复习思考题	87
第四章 DKJ 电动执行器	88
第一节 概述	88
第二节 伺服放大器	89
第三节 执行器	95
第四节 DKJ 电动执行器整机工作特性	101
第五节 DKJ 电动执行器校验及故障分析	104
第六节 DKJ-Ⅲ型电动执行器	107
复习思考题	109

第五章 DFD-07 型电动操作器	111
第一节 DFD-07 电动操作器动作原理	111
第二节 中途限位	115
复习思考题	118
第六章 电子开方器	119
第一节 概述	119
第二节 线路分析	120
第三节 DJK-03 型电子开方器校验	127
复习思考题	128
第七章 DXS-102 型比例积算器	129
第一节 概述	129
第二节 线路分析	130
第三节 比例积算器的校验	136
复习思考题	138
第八章 KMM 可编程调节器	139
第一节 概述	139
第二节 可编程调节器的基本组成及工作原理	141
第三节 输入处理程序	148
第四节 运算模块	152
第五节 控制类型及无扰动切换	167
第六节 调节器运行方式与自诊断功能	173
第七节 通信功能	176
第八节 用户程序的编制	177
第九节 KMM 可编程调节器的操作使用	193
第十节 KMM 可编程调节器的应用	202
复习思考题	206
第九章 TF 型组件组装式仪表	208
第一节 概述	208
第二节 典型电路	211
第三节 转换组件	226
第四节 计算组件	230
第五节 调节组件	245
第六节 监控组件	264
第七节 操作器	274
复习思考题	287
第十章 SPEC200 型组装式仪表	289
第一节 概述	289
第二节 2AX+A5 型调节组件	292
复习思考题	301
第十一章 MZ-■ 型组装式仪表	302

第一节 概述	302
第二节 调节组件	305
第三节 操作器	313
复习思考题	318
第十二章 调节机构	319
第一节 调节机构的类型和调节阀的基本结构	319
第二节 调节阀的流量特性	320
第三节 调节阀的使用和选择	326
复习思考题	327

绪 论

自动调节设备是实现生产过程自动化的重要技术工具。在自动化系统中，由检测仪表将过程参数变为电信号或气压信号后，除了送显示仪表指示或记录，让人们了解生产过程的情况外，还需要将信号传送给控制仪表，以便控制生产过程的正常进行，使被控参数达到预期的要求。

一个简单的自动调节系统方框图如图 0-1 所示，它是由调节对象和广义自动调节器两部分

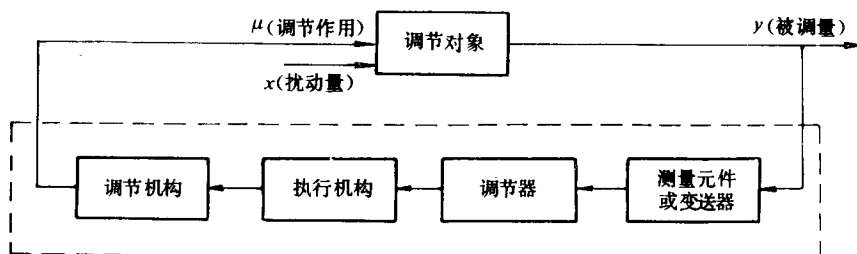


图 0-1 自动调节系统方框图

部分组成的闭合系统。被控参数（或称被调量）经测量元件或变送器检测后送调节器，调节器输出一个命令信号通过执行机构去操作调节机构，从而改变进入调节对象的某种介质，以达到使被控参数为某个预定值的目的。这里所指的广义自动调节器是指从被调量到调节机构输出之间的全套自动调节设备，它包括：变送器、调节器、运算器、执行器、监控器以及过程控制计算机等新型控制调节装置和调节阀等。学习和掌握自动调节设备的结构、原理及使用方法，是每个从事工业自动化人员的一项最基本的任务。

一、分类

（一）按所使用能源的不同分类

自动调节仪表按所用能源不同可分为四大类：

- （1）气动调节仪表：以压缩空气压力为能源；
- （2）液动调节仪表：以油压或水压为能源；
- （3）电动调节仪表：以电能为能源；
- （4）混合式调节仪表：同时以上述两种或两种以上的能源进行工作。

气动和液动调节仪表的发展已有几十年的历史，气动调节仪表的特点是结构简单、易于掌握、性能稳定、可靠性高，具有本质安全防爆性能，特别适用于石油、化工等有爆炸危险的场所。液动调节仪表大多用于功率较大的场合，例如目前电厂中的汽轮机调速几乎

都采用液动调节。气动和液动调节仪表的主要缺点是信息传输滞后较大，不适合快速调节、远距离控制和集中控制。

随着生产过程自动化的发展，远距离集中控制的日益增多，控制系统规模和复杂程度的不断增加，以及电子技术的高速度发展，电动调节仪表得到了迅速的发展和广泛的应用。曾一度影响电动调节仪表发展的技术问题逐渐得到解决，电动调节仪表的品种规格日趋完备，性能质量不断提高。随着安全火花型电动调节仪表的出现，电动调节仪表已广泛应用于石油化工、电力等工业部门。

电动调节仪表具有信息传送速度快、能实现快速调节、便于远距离控制的特点，它易于与其他电动的自动化技术工具（如巡测装置、数据处理装置和电子计算机等）连接使用，并能较方便地组成各种复杂的综合控制系统。

（二）按结构形式分类

自动调节设备按结构形式可分为基地式调节仪表、单元组合式调节仪表、组件组装式控制装置和分散型综合控制系统。

（1）基地式调节仪表是以指示、记录仪表为主体，附加一些控制机构而组成。它不仅具有调节的功能，同时还可指示记录。基地式仪表一般结构比较简单，价格较低。但这种调节仪表的系统成套性很强，使用的局限性极大，一般不能互换使用。因此它常用于小型企业的简单自动调节系统。

目前普遍使用的 XCT 系列动圈式控制仪表和 TA 系列简易式电子调节器即属此类仪表。

（2）单元组合式调节仪表的结构特点是：根据自动化系统中各组成环节的不同功能和使用要求，将整套仪表划分成能独立实现一定功能的若干单元，各单元之间用统一标准信号来联系。使用中可按照生产工艺的需要，将所需单元进行组合，构成多种多样的、复杂程度各异的自动检测和控制系统。

单元组合式仪表具有使用灵活、通用性强、便于生产、维修等特点，它适用于中、大型企业的自动控制系统。

近年来，我国在总结电动单元组合仪表经验的基础上，吸取国外同类仪表的先进技术，设计和研制出新型系列的数字化单元组合仪表——DDZ-S 系列仪表。这套仪表将模拟技术和数字技术相结合，并以数字技术为主。其主要特点是数字化、智能化、微位移（固态）化，具有 80 年代的先进水平。

（3）组件组装式控制装置是在单元组合式仪表基础上发展起来的一种功能分离、结构组件化的成套仪表装置。它以模拟器件为主，兼用了模拟技术和数字技术，可与工业控制机、程控装置、屏幕显示器等配合使用，因此这种控制装置特别适用于大型复杂工艺过程的自动控制。

由于现代化大型企业要求组成各种复杂的控制系统及集中的显示操作，这就需要将调节功能和显示操作功能分离开来，因此，组件组装式控制装置在结构上一般可分为控制柜和操作盘两大部分。控制柜内的组件箱中插入若干块组件板，组件板在控制柜中是高密度的安装，结构十分紧凑。控制机柜可安置在合适的方位，以充分利用空间。显示操作盘只

占很小的地方,运行人员利用一台屏幕显示和操作装置即可实现对生产的集中监视和操作,从而大大改善了人-机联系。

组装仪表还考虑了系统安装工程问题。它以成套装置的形式提供给用户,整套自控系统在仪表厂就预先组装好,从而使自控系统的现场施工设计、系统安装和调试工作量大为减少,也使维护、检修工作大为简化。

(4) 分散型综合控制系统是以微处理机为核心,在控制技术、计算机技术、数据通信与网络技术以及图像显示技术迅速发展的基础上研制成的一种新型控制系统。它的设计思想是分散控制、集中管理。

由多台专用微机(如分散型控制系统中的基本控制器或其他数字式调节器)分散地控制各个回路,使每台微机仅控制8~16个回路,这样当一台微机出现故障时,只影响其控制的回路,从而使“危险”分散。各台微机之间用数据通信电缆联系起来,再与上一级计算机或显示操作站相连,采用图像显示器(CRT)进行集中显示,并通过各种键盘进行操作,实现了集中监视、集中操作和管理整个生产过程。这就是通常所说的分散型综合控制系统,或称为集中分散型控制系统。

随着微机芯片价格的下降,出现了仅控制一个回路的专用微机——单回路可编程调节器。

与此同时,以微机为核心的可编程控制器(PC)也得到了迅速发展,这种控制器以开关量控制为主,用于程控装置、工业机器人、数控机床、加工制造业、联锁保护系统等方面。目前生产的一些产品,功能更为丰富,已具备PID等反馈控制功能和数据处理能力,并具有通信接口,可与计算机配合使用。因此这类控制器将在我国工业部门得到广泛的应用。

自动调节仪表按信号类型亦可分为模拟式和数字式两大类,如DDZ型仪表就属于模拟式调节仪表,单回路可编程调节器则属数字式仪表。

二、电动单元组合式(Ⅱ型)仪表介绍

我国从1958年开始设计、研制电动单元组合仪表,整套仪表以电(Diàn)、单(Dān)、组(Zǔ)三字的汉语拼音文字的第一个大写字母来命名,即称为DDZ型仪表。60年代初期,以电子管作为基本元件的DDZ-Ⅰ型仪表开始在我国有关工业部门中应用。由于半导体技术的迅速发展,不久就被DDZ-Ⅱ型仪表所代替。Ⅱ型仪表是以晶体管为主要器件,不仅体积缩小、重量减轻,而且性能也得到改善。70年代中期出现的DDZ-Ⅲ型仪表是以运算放大器作为核心器件,采取了安全火花防爆技术,因而性能更稳定、可靠。DDZ-Ⅲ型仪表在石油、化工等工业部门使用较多。鉴于电厂使用DDZ-Ⅱ型仪表较多,故本教材仅介绍Ⅱ型产品。

(一) 仪表分类

单元组合仪表按它在自动化系统中所起的作用不同,整套仪表可划分为八大单元。其中变送单元和执行单元属于现场安装仪表,调节、运算、显示、给定、转换、辅助单元属于控制室仪表。现将各单元的作用介绍如下:

1. 变送单元

它的功能是将各种被测参数,如温度、压力、流量、液位等物理量变换成相应的0~

10mA 直流电流，传送到显示、调节等单元，以供指示、记录或调节。变送单元的主要品种有：温度变送器、压力变送器、差压变送器、流量变送器等。

2. 调节单元

它将来自变送单元的测量信号与给定信号进行比较，并按一定调节规律输出连续的调节信号，控制执行器的动作，实现自动调节。调节单元的品种有：比例积分微分调节器、比例积分调节器、微分调节器等。

3. 执行单元

它按照调节器输出的调节信号或手动操作信号，操作各种调节机构（如挡板、阀门等），控制调节对象的工况，以达到调节的目的。执行单元的产品有：角行程电动执行器、直行程电动执行器。

4. 显示单元

它将变送单元或其他单元送来的各种被测参数信号进行指示、记录、报警和积算，供运行人员监视调节系统工况之用。显示单元的品种有：比例积算器和开方积算器。

5. 计算单元

它将几个由其他单元送来的 0~10mA 直流电流信号进行加、减、乘、除、开方、平方等数学运算，以用于多参数综合调节，配比调节，流量信号的温度压力校正等。运算单元的品种有：加减器、乘除器和开方器等。

6. 给定单元

它输出 0~10mA 的直流电流，作为被调参数的给定值送到调节单元，实现定值调节。给定单元的输出也可以供给其它仪表作为参考基准值。其品种有：恒流给定器和分流器。

7. 转换单元

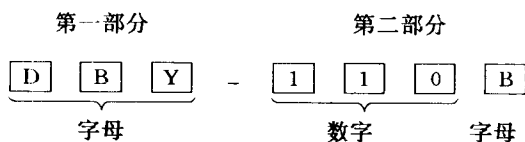
转换单元是 DDZ-Ⅱ 型仪表与其他系列仪表之间联系的桥梁，它可将电压、频率等信号或将气动单元组合仪表的 20~100kPa 标准气压信号转换成相应的 0~10mA 直流电流，也可以将Ⅱ型仪表的统一标准信号（0~10mA 直流电流）转换成 20~100kPa 的标准气压信号，从而扩大了 DDZ-Ⅱ 型仪表的使用范围。转换单元的品种有：直流毫伏转换器、频率转换器、气-电转换器等。

8. 辅助单元

它配合各单元在自动调节系统中起附加或补充作用，以增加系统组合的灵活性及系统运行的安全性。辅助单元的产品很多，如操作器和选择操作器用于手动操作；阻尼器用于压力或流量信号的平滑、阻尼；限幅报警器用以限制电流信号的上下极限，并具有报警作用。

（二）产品命名

DDZ-Ⅱ 型仪表各类单元产品的型号由两部分组成，两部分之间用短横线隔开。



第一部分由三个汉语拼音大写字母所组成。

第一个字母均为 D，表示属于电动单元组合仪表。

第二个字母代表仪表的大类，字母的意义如下：

B——变送单元； Z——转换单元；

T——调节单元； J——计算单元；

K——执行单元； G——给定单元；

X——显示单元； F——辅助单元。

第三个字母代表各大类中的产品小类，同一个字母在不同大类中有不同的含义，如表 0-1 所示。

表 0-1 DDZ-Ⅱ型仪表各产品小类代用字母

字母	变送单元	调节单元	执行单元	显示单元	计算单元	给定单元	转换单元	辅助单元
W	温度、温差	连续调节						高低选择
Y	压 力							
U	液 位							
C	差 压							
L	流 量							
F		断续调节	角行程	记 录	加 减	分 流	交流毫伏转换	限 幅
J								
D								
P								
Q								
K			直行程	积 算	乘 除		频率转换	气动操作
S								
Z								
A				指 示		恒流给定	气·电转换	阻 尼

第二部分又分为两节。

第一节由两位或三位阿拉伯数字组成。变送、调节、显示和执行四种单元均由三位数字组成，前两位代表仪表系列、规格和结构特征，第三位数字代表序号。其余四种单元，则由两位数字组成，第一位数字代表规格和结构特征，第二位数字代表序号。

第二节由一个或两个汉语拼音大写字母所组成，表示产品的变型结构或特殊用途。字母的意义如下：X——现场安装式；J——盘后架装式；N——气密式；K——快速；F——防腐；B——防爆；C——船用；M——面板式。

若某项产品兼有两种特殊结构则连用两个字母表示。

型号举例：

DBY-110B 代表防爆型压力变送器，其量程范围为 0~10 至 0~100kPa。

（三）信号制

DDZ-Ⅰ型仪表以 0~10mA 的直流电流作为统一的标准信号，信号传输采用电流传送-电流接收的串联制方式。

第一章 压力、差压变送器

第一节 概 述

在热工测量和自动调节系统中,压力、差压变送器主要用来将各种被测参数如压力、差压、流量、液位等物理量转换成 $0\sim 10\text{mA}$ 或 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流信号,传送到指示、记录、计算、调节等仪表或巡回检测装置、控制计算机,以实现生产过程的自动检测和控制。

在实际使用中,变送器一般需与检测元件配合使用,如差压变送器与节流元件(孔板、喷嘴)配合用来测量流量、差压,温度变送器与测温元件(热电偶、热电阻)配合测量温度。由于实际使用场合各不相同,所以要求变送器的量程可调整,并能进行零点迁移。变送器一般多与被测介质接触并设置在现场,常常在高温、低温、腐蚀、振动、冲击等环境中工作,因此要求它有较高的可靠性与准确度。

与自动化仪表的发展过程一样,随着科学技术的发展,近年来出现了许多新型变送器。近 30 年来,差压、压力变送器的主要型式是力平衡式变送器,不论是最早的双杠杆结构还是后来的矢量机构,它们都是按力平衡原理设计的,力平衡式变送器必须有动圈、磁钢、导磁体和传动机构等各种部件,这样不仅使变送器体积大而笨重,而且其可靠性、稳定性和抗震性难以提高,以致成为自动控制仪表系列中的薄弱环节。到 70 年代,随着新工艺、新技术、新材料的出现,加上电子技术的迅猛发展,新型的变送器采用开环原理,不需要笨重的反馈及传动装置。这些新型变送器根据其检测元件的不同,有差动电容式、差动电感式、扩散硅压阻式、振弦式等。其动作原理十分简单:被测压力使检测元件产生微小位移,引起电容、电感、电阻或张力的变化,再经电子测量线路转换成标准电信号输出。新型变送器具有结构简单、准确度高(精度可达 $\pm 0.2\%\sim \pm 0.5\%$)、稳定可靠、小型轻量、使用维护方便、测量范围宽的优点。以差压变送器为例,它的测量范围可为 $123\text{Pa}\sim 7\text{MPa}$,这是力平衡式变送器不可比拟的。

1151 系列电容式变送器是美国罗斯蒙特公司研制的,411 系列扩散硅式变送器是美国霍尼威尔公司研制的,8600 系列电感式变送器是美国贝克曼公司研制的,823 系列振弦式变送器是美国福克斯波罗公司研制的。西安仪表厂从美国罗斯蒙特公司引进新技术生产的 1151 电容式变送器,已广泛应用于热工检测与自动控制系统中。近年来,又出现了光纤式、数字式和智能化压力、差压变送器。所谓智能化变送器,是指采用单片微机通过软件开发使之具有智能的变送器,它能适应被测参数的变化来自动补偿、自动校正、自选量程、自寻故障,它配有数字输出,实现双向通信,并具有较强的环境适应性。罗斯蒙特公司已生产有 1151 智能化(Smart)变送器及 3051 Smart。

本章将着重讨论 1151 电容式变送器,并对还普遍使用着的力平衡式变送器作一般介绍。

第二节 电容式变送器的工作原理

电容式变送器包括测量部分和转换放大电路两部分，其构成方框如图 1-1 所示。输入差

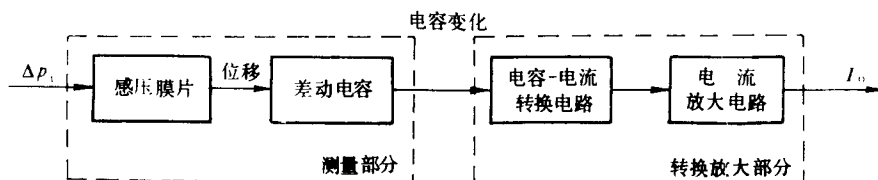


图 1-1 电容式变送器的组成原理方框图

压 Δp_i 作用于测量部分的感压膜片，从而使感压膜片（即为电容的可动板极）与两固定板极所组成的差动电容器之电容量发生变化，此电容变化量由电容-电流转换电路转换成直流信号，再与其他信号叠加，输出一个与感压膜片的位移成线性关系的 $4\sim 20\text{mA}$ 直流电流信号 I_o 。

一、测量部分

测量部分的作用是将被测差压 Δp_i （或压力 p_i ）转换成电容量的变化。首先由感压膜片将被测差压（或压力）线性转换成微小位移的变化，再由位移的变化转变成电容量的变化。测量部分由正、负测量室和敏感部件等组成，其结构如图 1-2 所示。

（一）差压-位移转换

不管被测差压（压力）信号是高还是低，电容变送器均采用金属膜片作为敏感元件（也称感压膜片）。被测差压（压力）作用在感压膜片上得到相应的位移。平膜片形状简单，

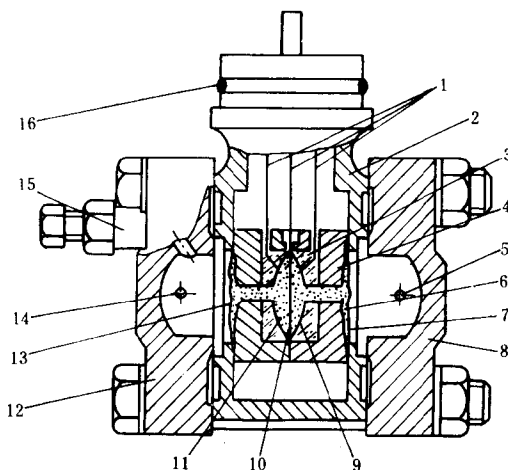


图 1-2 测量部件结构

1—电容引出线；2—差动电容膜盒座；3—绝缘体；4—差动电容膜盒；5—负压侧导压口；6—硅油；7—负压侧隔离膜片；8—负压室基座；9—负压侧弧形电极；10—中心感压膜片；11—正压侧弧形电极；12—正压室基座；13—正压侧隔离膜片；14—正压侧导压口；15—放气排液螺钉；16—O 形密封环

根据它的压力-位移特性及工作在小位移的情况,在测量较高压力时采用结构尺寸恰当的厚膜片,测量较低压力时采用张紧的(具有预紧应力的)薄膜片,两种情况下均可得到良好的线性特性。设感压膜片位移为 Δd , 被测差压为 Δp_i (或压力 p_i), 则有

$$\Delta d = k_0 \Delta p_i \quad (1-1)$$

式中 k_0 ——与膜片结构尺寸和材料性质有关的比例系数。

在 k_0 为常数时, 位移与差压成线性关系。

(二) 位移-电容转换

位移-电容的转换是由敏感部件实现的。敏感部件采用球形结构, 它主要包括中心感压膜片 10 (即可动板极), 正、负压侧弧形电极 11、9 (即固定板极), 电容引线 1, 绝缘体 3, 正、负压侧隔离膜片 13、7 和膜盒座 2 等。敏感部件即是差动电容膜盒, 其结构见图 1-2。将差动电容膜盒座 2 与玻璃烧结后, 磨出球形凹面, 然后在玻璃表面蒸镀一层金属薄膜, 即形成固定板极 9、11。正中央的感压膜片 10 由特殊金属材料制成, 焊接在两个差动电容膜盒座之间形成圆形可动板极, 在膜盒座 2 的外侧焊上隔离膜片 7、13。固定板极 9、11 与感压膜片 (也称测量膜片) 10 组成对称的两室结构 (称为 δ 室), 两室的空腔中充满硅油 6, 用以传递压力。感压膜片和其两边的固定板极 9、11 形成电容 C_1 和 C_2 , 无差压信号输入时, $C_1 = C_2$, 其电容量约为 150~170pF。

当被测差压 Δp_i 通过正、负压侧导压口引入正、负压室, 作用于正、负压侧隔离膜片上时, 迫使硅油移动, 于是将差压信号传递到中心感压膜片的两侧, 使膜片产生微小位移 Δd (最大约 0.1mm), 因感压膜片为电容的可动板极, 它与固定板极构成差动电容 C_1 和 C_2 , 当感压膜片产生位移时, 电容 C_1 和 C_2 的电容值随之发生变化, 实现了差压-位移-电容的转换。差动电容 C_1 、 C_2 的变化由引出线 1 传送给转换放大电路。

理论分析表明, 可将图 1-2 所示的平-球型 (可动电极平面, 固定电极球面) 电容简化成图 1-3 所示的平板型差动电容。

当被测差压 $\Delta p_i = 0$ 时, 可动电极 (中心感压膜片) 与两边固定极板之间的距离相等, 设其间距为 d_0 。当被测差压作用于感压膜片, 使它产生位移 Δd 时, 可动电极与两边固定极板的距离分别变为 $d_0 + \Delta d$ 和 $d_0 - \Delta d$, 两个电容 C_1 、 C_2 分别为

$$C_1 = \frac{A\epsilon}{d_0 - \Delta d} \quad (1-2)$$

$$C_2 = \frac{A\epsilon}{d_0 + \Delta d} \quad (1-3)$$

式中 A ——电容极板的有效面积;
 ϵ ——极板间介质的介电常数。

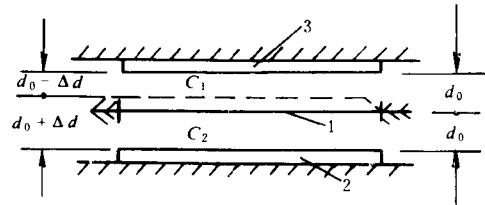


图 1-3 平行板差动电容器示意
 1—可动极板; 2、3—固定极板

取两电容之差为

$$\Delta C = C_1 - C_2 = A\epsilon \left(\frac{1}{d_0 - \Delta d} - \frac{1}{d_0 + \Delta d} \right) = k' \frac{2\Delta d}{d_0^2 - \Delta d^2} \quad (1-4)$$

式中 $k' = A\epsilon$ 。

由上式可见,两电容的差值与感压膜片的位移 Δd 成非线性关系。若取两电容之差与两电容之和的比值,解得

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = \frac{\Delta d}{d_0} \quad (1-5)$$

将式 (1-1) 代入上式,可得

$$\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2} = k_0 \frac{1}{d_0} \Delta p_i = k_1 \Delta p_i \quad (1-6)$$

式中 k_1 ——比例系数, $k_1 = \frac{k_0}{d_0}$ 。

式 (1-6) 表明:

1) 差动电容的相对变化值 $\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$ 与被测差压成线性关系,因此转换放大部分应将这一相对变化值变换为直流电流信号。

2) 比值 $\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$ 与介电常数无关,因为介电常数 ϵ 是随温度变化的,现 ϵ 不出现在式中,无疑可大大减小温度对变送器测量精度的影响。

3) 改变结构系数 k_0 (膜片的结构尺寸和材料性质),即可改变测量范围,从而可得到多种不同量程 (如微差压、中差压、高差压等) 的变送器。

上述分析中,没有考虑分布电容的影响,分布电容的存在将会造成非线性误差,为了保证仪表精度,在转换电路中加入线性调整电路进行补偿。

二、转换放大电路

转换放大电路的作用是将感测部分得到的差动电容的相对变化值 $\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$ 信号转换成 4~20mA 直流电流信号输出,此外,还具有零点调整、零点迁移、量程调整、阻尼调整、线性调整等功能。

为了实现输出电流与被测差压成线性关系,必须设计一种电路,使其输出电流 I_o 与 $\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$ 成正比的关系,然后再将 I_o 放大成标准的输出电流信号。转换放大电路的组成方框图如图 1-4 所示。转换放大电路主要包括电容-电流转换电路及电流放大电路两部分,它们分别由振荡器、解调器、振荡控制放大器、调零及零迁电路、量程调整电路、放大及输出限制电路等组成。

差动电容 C_1, C_2 由振荡器提供高频电流,经解调器解调后,输出两组直流电流信号。一组为 $I_1 - I_2$,称差动信号;另一组为 $I_1 + I_2$,称为共模信号。差动信号随输入差压 Δp_i 而变化,此信号与调零及调量程信号 (即反馈信号) 迭加后,送至放大及输出限制电路,输

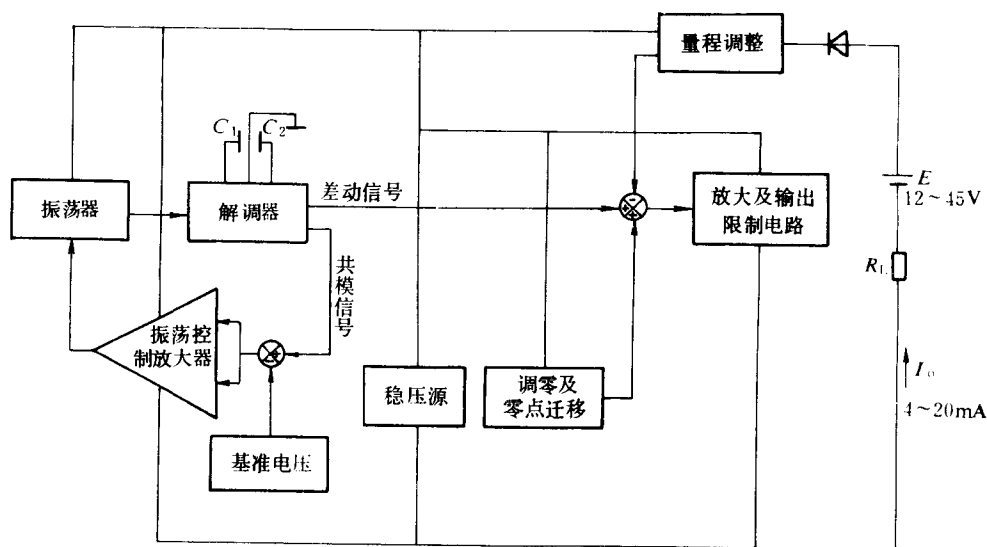


图 1-4 转换放大电路组成方框图

出一个与差压 Δp_i 成正比的 $4 \sim 20\text{mA}$ 直流标准信号。共模信号则反馈到一对标准电阻上，与基准电压进行比较，其差值送入振荡控制放大器，然后去控制振荡器的供电，其作用是使共模信号保持不变，即 $I_1 + I_2 = \text{常数}$ 。下面的分析将证明，当共模信号为常数时，将保证差动信号与输入差压之间成单一的比例关系。

转换放大部分电路如图 1-5 所示。

(一) 电容-电流转换电路

电容-电流转换电路的作用是将差动电容的相对变化值 $\frac{C_1 - C_2}{C_1 + C_2}$ 成比例地转换为差动电流信号（即电流变化值）。它主要由振荡器、解调和振荡控制电路、线性调整电路组成。

1. 振荡器

振荡器的作用是向差动电容 C_1 、 C_2 提供高频电流，它由晶体管 V_1 、变压器 T_1 、电阻 R_7 和 R_8 、电容 C_7 和 C_8 组成。振荡器电路如图 1-6 所示，这是一种变压器反馈型振荡电路。

振荡器由振荡控制放大器 N_1 的输出电压 U_o 供电，从而使放大器 N_1 能控制振荡器的输出幅度。电阻 R_7 、 R_8 构成偏压环节，变压器 T_1 的 L_2 为反馈绕组， L_3 、 L_4 、 L_5 为输出绕组。输出绕组的电感量均为 L ，它们的等效负载也基本相同（图中仅画出一组），均为电容 C ，其大小取决于变送器的差动电容值。电感 L 和电容 C 组成了并联谐振电路，它与初级绕组 L_1 共同构成晶体管 V_1 集电极负载，其谐振频率也就是该振荡器的工作频率，约为 32kHz 。在 LC 回路达到谐振状态时，其阻抗最大，并呈纯阻性质。晶体管 V_1 的集电极电位与基极电位相位相反， L_2 上的反馈电压通过电容 C_8 加到 V_1 的基极。由图 1-6 中变压器 T_1 同各端标号可见，该振荡器满足振荡的正反馈相位条件。电容 C_7 起加速正反馈的作用。适当选择元件参数，便能满足振荡的幅值条件。于是振荡器起振，在三个输出绕组上即有