

中等专业学校教材

热力过程自动化

北京电力学校 陈勤奇 主编
武汉电力学校 康伦定

水利电力出版社

中等专业学校教材

热力过程自动化

北京电力学校 陈勤奇 主编
武汉电力学校 康伦定

•

水利电力出版社出版

(北京三里河路6号)

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

水利电力出版社印刷厂印刷

•

787×1092毫米 16开本 22.25印张 507千字 1插图

1986年11月第一版 1986年11月北京第一次印刷

印数00001—32140册 定价3.25元

书号 15143·6165

内 容 提 要

本书是中等专业学校热能动力类专业的通用教材，主要介绍有关火电厂热力过程自动化的基本知识。全书内容分为三部分：热工检测部分，着重介绍热工参数的检测方法和常用典型仪表的原理结构及应用；自动调节部分，讲述自动调节原理的基本概念，介绍常用的电动单元组合仪表、组态仪表的原理和应用以及单元机组自动调节系统的组成方案；热工检测控制系统概述部分，介绍了热工检测、远方控制、热工信号及热工保护等系统的原理和组成。

本书亦可供从事有关专业的工程技术人员和工人参考。

前 言

为使本教材内容能及时反映大型火力发电机组的自动化水平,结合中等专业学校的教学特点,在1980年7月出版的《火电厂热力过程自动化》教材的基础上,按照水利电力部教育司1980年12月颁发的教学大纲,参照本课程教学研究会1982年11月武汉会议拟定的教材编写提纲,重新编写了《热力过程自动化》一书,作为中等专业学校热动力类专业的通用教材。与原教材相比较,新编教材在内容方面、叙述与分析方法方面作了一些改进,例如,在热工检测部分,增补了一些典型仪表的校验方法和一些已被推广使用的新型仪表的原理、结构及应用;在调节原理部分,采用了传递函数的方法来分析环节及系统的特性;在自动调节设备部分,除了以常用的DTL-331型调节器为实例进行分析外,还增编了组态仪表主要功能组件的原理、结构和应用;在热力设备的自动调节系统部分,以介绍单元机组的自动调节系统为重点;在热工检测控制系统概述部分,补充编写了远方控制系统,对热工检测、热工信号及热工保护等系统也作了适当的补充。为了帮助读者掌握基本内容,各章均附有一定数量的复习思考题。

根据“水利电力部1983~1987年中等专业学校水利电力类专业教材编审出版规划”,全书分两大部分编写,其中“热工检测与控制”部分由北京电力学校陈勤奇(绪论及第一、二、十一章)和罗砚鑫(第三、四、五、六章)编写,陈勤奇担任主编,重庆电力学校孔元发担任主审;“自动调节”部分由武汉电力学校康伦定(第七、八章)和山东电力学校赵祥生(第九、十章)编写,康伦定担任主编,郑州电力学校许万年担任主审。在教材编审过程中,参考和引用了热动力类专业、热工测量及自动化专业同类教材的部分内容,并得到各兄弟院校和有关单位的支持与帮助,在此谨致谢意。

在本教材的编写、审稿和定稿过程中,发现教学大纲和教材编写提纲所规定的内容偏多,以及教学大纲规定的教学时数与教材的篇幅不相适应,为此作了反复删减和修改,但限于编者水平,在内容的选材、分析及表述诸方面仍会有疏漏不当甚至错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

一九八五年十月

目 录

前 言	
绪 论	1
第一章 热工测量概论	6
1-1 测量的概念和方法	6
1-2 工业自动化仪表的组成和分类	7
1-3 测量误差概述	11
复习思考题	16
第二章 温度测量	18
2-1 热电偶温度计	19
2-2 动圈式温度指示仪表	42
2-3 测量热电势的电位差计	47
2-4 电阻温度计	67
2-5 温度(温差)变送器	79
复习思考题	89
第三章 压力和压差测量	91
3-1 压力和压差的测量方法	91
3-2 压力信号变送器	100
复习思考题	109
第四章 流量测量	110
4-1 流量测量概述	110
4-2 节流变压降式流量计	113
复习思考题	123
第五章 水位测量	124
5-1 差压式水位计	124
5-2 电接点水位计	129
复习思考题	134
第六章 成分分析仪表	135
6-1 烟气含氧量的分析	135
6-2 电导式分析仪	143
复习思考题	145
第七章 自动调节原理的基本知识	147
7-1 概述	147

7-2 静态特性 动态特性 传递函数	153
7-3 典型环节的动态特性	166
7-4 热工调节对象的特性	181
7-5 自动调节器典型动作规律及其调节过程	189
复习思考题	204
第八章 自动调节设备与装置	208
8-1 DTL-331 型调节器的工作原理及其动态特性	208
8-2 DKJ 型电动执行器	223
8-3 操作器	234
8-4 无扰切换	238
8-5 其他类型的执行器	240
复习思考题	240
第九章 热力设备的自动调节系统	242
9-1 概述	242
9-2 汽包锅炉给水自动调节系统	243
9-3 过热蒸汽温度自动调节系统	257
9-4 燃烧过程自动调节系统	264
复习思考题	280
第十章 组装仪表	282
10-1 组装仪表系统的组成和结构	282
10-2 组装仪表总体设备分类	284
10-3 组装仪表功能组件的主要基本电路原理简介	287
10-4 组装仪表应用简介	311
复习思考题	315
第十一章 热工检测和控制系统概述	317
11-1 热工检测系统	317
11-2 远方控制系统	321
11-3 热工信号系统	330
11-4 热工保护系统	336
复习思考题	348

绪 论

一、实现火力发电生产过程自动化的必要性

电力工业是转化能源的工业,火力发电的生产过程就是将矿物燃料的化学能(一次能源)转化为电能(二次能源)的过程。由于电能的通用性广,又便于转化,所以用电能代替其它能源是提高能源利用效率和节约能源的重要措施。目前电能已广泛应用于工农业生产、科学研究和人民生活的各个领域,世界上也已把电能占总能源的比重作为衡量一个国家现代化水平的标志。

由于电能无法储存,它的转化和利用都必须连续的,即“产、供、销”要同时完成,所以发电、供电的能力应能随时适应外界负荷的需求。发电、供电和配电不可分割的特点,使电力工业成为一种现代化、连续化的大生产。电力工业的建设速度和规模,将由国民经济建设的发展,外界用电负荷的增长幅度所决定。

为了适应我国四个现代化建设的需要,根据我国的能源政策,到本世纪末燃煤电厂仍占主导地位,高参数大容量火力发电机组在新增容量中将占很大比重。火力发电厂的热力系统是由锅炉设备、汽轮机设备和有关辅助设备的各种系统所构成的。这些设备和系统在运行中相互密切相关,必须有节奏地协调配合,才能充分发挥发电机组的能力,达到安全、经济、满发的目的。随着机组容量的增大和参数的提高,热力设备的结构和热力系统都越来越复杂,参数之间的相关性也更加紧密,在运行中需要监视和操作的项目将随机组容量的增长而显著增多。不同容量机组需监视和操作的项目数量可作如下比较:

机组容量(MW):	50	125	200	300	600
监视项目(测量点数):	115~135	540~600	560	950~1050	2000
操作项目(执行器数):	70~75	142	280	410~450	800

尤其是在机组起停或事故处理过程中,还要增加更多的监视项目和频繁操作。显然,这对任何熟练的运行值班人员来说,都是难以应付的,往往由于力所不及或稍有疏忽,就可能造成重大事故。所以,必须根据生产过程的客观规律,采用相应的自动化技术工具来代替人的重复性劳动,即实现生产过程自动化,才能对机组的工况进行全面、准确而迅速的检测,并通过分析和综合判断,自动地进行操作与控制,保证机组安全可靠地运行。同时,由于采用自动化技术能保证机组在良好的状态下运行而延长了机组的使用寿命,还可降低燃料消耗和发电成本,提高机组运行的经济性。而且在减少运行人员、提高劳动生产率 and 改善劳动条件等方面也能得到良好的效果。此外,实现生产过程自动化是实现四个现代化的重要标志之一,它对于促进科学技术的发展也具有十分重要的意义。

必须指出,生产过程自动化的程度应取决于它所能获得的经济效益,绝不能片面地追求所谓的高水平。《电力工业技术管理法规(试行)》中明确提出:“火电厂热工自动化的设计、自动化水平的确定、热工仪表和控制装置的选型应满足发电设备安全、经济运行

要求,并应在达到主、辅机各项技术指标、延长发电设备使用年限、改善劳动条件及提高劳动生产率等方面收到实际效果。”因此,必须遵循这一基本原则并根据机组的容量和参数等级,进行技术经济的综合比较,合理地确定火电厂热力过程自动化的水平和选择具体的实现方案。

二、火电厂热力过程自动化的组成

火电厂热力过程自动化的内容一般包括以下四个部分:

1. 热工检测

热工检测是了解热力过程中物质状态及其变化的技术手段。在火电厂中为了保证机组安全、经济地运行,必须对表征热力过程状况的各种参数进行连续的检查、测量和显示,随时向运行值班人员和自动化装置提供主、辅设备及热力系统的运行情况,以便监视生产,并作为控制和调节生产的依据。因此,热工检测是热力过程自动化的重要基础环节,所用的检测仪表常被喻为工业的耳目。另外,热工检测还为企业经济核算提供准确的数据,以便综合分析运行情况,寻求经济合理的运行方式。在发生事故时,异常运行参数的显示和记录,也可作为事故分析的依据,以便提出改进和防范的措施。

在火电厂热力过程中,需要检测的参数项目是根据锅炉、汽轮发电机组及其辅助设备的型式,汽水系统、燃烧系统及其运行控制方式的要求,从保证安全、经济运行的需要出发来确定的。一般按被检测参数项目的用途及其重要性的不同,可分为四类:

I类是为安全、经济运行或仅为安全运行而必须检测的参数,称为主要参数。缺少检测其中任一参数的仪表,都不允许机组或某一辅机投入运行,或只许在短时间内运行。用来检测这类参数的仪表称为主要仪表。

II类是为经济分析或核收费用而必须检测的参数,称为重要参数。缺少检测这类参数的仪表,将无法掌握最经济的运行工况,影响机组的效率或无法核收费用。用来检测这类参数的仪表称为重要仪表。

III类是为分析上述两类参数中的问题而需要检测的相关参数,称为辅助参数。用来检测这类参数的仪表称为辅助仪表。

IV类是仅为机组起动过程中特别需要监视的参数,用来检测这类参数的仪表称为起动仪表。

此外,还有一些专为热效率试验而设的检测项目,一般都是在进行试验时,临时选择和装设测点。

2. 热工信号、保护及联锁

(1) 热工信号:热工信号是在某些被监视的运行参数偏离规定范围时,或者出现某些异常情况时,发出的灯光(光字牌显示信号的内容)和音响(电铃报警)信号,它能引起运行值班人员的注意,以便及时采取相应的措施,消除异常,防止发生事故。热工信号可分为预告信号、事故信号和联系信号三类。

(2) 热工保护及联锁:热工保护的作用是保证设备及人身安全。当生产系统的某个部分在运行中出现异常情况或事故时,它将根据故障的性质和程度,按照一定的规律和要求,自动地对个别的或一部分设备,甚至一系列设备进行操作,以消除异常,防止事故的发生。

生或扩大。热工保护的内容取决于机组的结构、容量、参数、运行方式及热力系统的特点。

联锁实际上是热工保护的一部分，只是一般只限于进行局部操作，上述热工保护往往是通过联锁的作用来实现的。另外，联锁的作用还包括按有关热工参数和设备状态实现局部系统和设备的自起停，以保证局部控制过程按一定的条件和次序进行，因此可简化操作和避免发生误操作。

3. 自动调节

在火电厂热力过程中，为了保证机组安全、经济地运行，必须要求某些参数始终维持在预定的范围内，或者按照预定的规律变化。当出现外界的扰动或内部的影响而使参数发生偏离规定值的倾向时，就需要进行相应的调节，使之保持或恢复到规定的范围，以保证生产过程的稳定。自动调节就是依靠自动调节设备来自动实现这种调节作用的，因此，自动调节设备应具有检测、定值、运算和执行等功能。目前，我国火电厂常用的自动调节设备以电动单元组合仪表（DDZ—II型）为主，在大型机组上采用组装仪表（TF—900型或MZ—III型）。火电厂热力过程的自动调节是构成过程自动化的主要部分，应设置的自动调节项目是根据主、辅设备的类型和安全经济运行的需要，并参照制造厂提供的技术资料等来确定的。

4. 热工操作控制

热工操作控制是指对某一设备进行单个操作，或对某一工艺系统的多台设备按一定的规律进行成组操作或程序控制。

热工操作控制有远方控制和程序控制两种方式。

远方控制就是手动远距离操作。在一些调节机构和截止机构上装有远方控制器、电动装置（电动门）或电磁铁牵引装置（电磁门），运行值班人员可在控制台上通过这些控制装置进行远方控制。另外，当自动调节系统发生故障时，可将操作单元由“自动”位置切换至“手动”位置，运行值班人员便可对调节机构进行手动远距离操作。

程序控制是按照一定的顺序、条件和时间要求，对一台设备或一组设备进行操作控制。一般是将生产过程划分为若干个局部的可控系统，利用程序控制装置通过操作指令（手动操作指令或由仪表、控制机等分析判断后发出的指令），使某个局部系统的有关被控对象按预定的顺序和时间要求自动地完成操作。这不仅简化了操作手续从而减轻运行值班人员的劳动强度，更重要的是有利于保证操作的及时和准确，并能缩小控制盘、台的监视操作面，便于集中控制。实际上，以电子计算机为中心的闭环控制就是有关程序控制系统的大组合。目前，在火电厂中已在制粉系统、锅炉定期排污和吹灰系统以及化学水处理系统等方面采用了程序控制，随着大型发电机组的出现，采用程序控制的项目将要增多，并逐步发展为综合性的程序控制，如汽轮发电机组的自起停、锅炉点火和带负荷过程的自动化以及按负荷自动切投燃烧器等等。在火电厂热力过程自动化中，程序控制将很快占据重要的地位，配合电子计算机的应用，可进一步实现整个机组和整个电厂的综合自动化，提高火电厂的自动化水平。

三、火电厂的控制方式

火电厂的控制方式，是指运行值班人员为监视和控制发电机组的运行所采取的方法，

它综合反映了火电厂的自动化水平。控制方式的选择是以确保机组安全、经济运行为主要原则，同时要有利于运行管理，提高劳动生产率和改善劳动条件。因此，它与机组的容量、主系统的特点、主辅设备的可控性及自动化设备的生产技术水平等有关。目前，火电厂的控制方式一般可分为三类：

1. 分散就地控制

分散就地控制适用于中小型机组，因为中小型机组一般采用机、炉并列运行的母管制热力系统，其负荷分配是以车间为主。因此，机与机、炉与炉之间的横向关系密切，可以分别设置控制盘、台，对一台或两台及两台以上同类型设备进行就地控制。另外，母管制的除氧给水系统是保证给水品质、维持给水压力稳定的独立运行系统，一般在汽机房零米层设置就地控制盘。其它辅助车间如水处理车间、燃料油泵房、制氮站等，也是相对独立的，可分别在各车间设置就地控制盘。

2. 集中控制

集中控制是将控制盘、台集中设置于单独的控制室内，对配套运行的机组或单元机组的运行进行整体的监视和控制。

母管制机组的集中控制是对两台或两台以上的锅炉和汽轮机进行集中监视和控制，也可包括除氧给水等辅助系统在内。这样便于机与机、炉与炉以及机与炉之间的联系配合、协调操作和运行管理。采用这种控制方式必须相应地提高机组的自动化水平，以减少就地监控的工作量。

单元机组的集中控制，有机炉集中控制和机炉电集中控制两种方式。机炉集中控制的对象是锅炉及其燃料供应系统、汽轮发电机组及相应的冷却系统、除氧给水系统等，全厂的发电机、主变压器、厂用电和网络系统在电气主控制室监控；机炉电集中控制的对象一般包括锅炉及其燃料供应系统、汽轮发电机组及相应的冷却系统、除氧给水系统、发电机—变压器组、厂用电和直流电系统等，网络系统可另设网络控制室，也可在单元控制室内控制。

单元机组采用集中控制后，全厂公用系统的辅助车间，如水处理车间、燃料油泵房等仍需采取就地控制或车间集中控制。

由于单元机组的热力系统和电气主接线等都向单元制发展，单元机组的机炉电之间的纵向关系密切，已构成一个较独立的运行整体。因此，在控制方式上，应把机炉电作为一个有机的整体进行监视和控制，使机炉电之间可以密切配合，协调操作，有利于机组的安全经济运行，便于运行管理和统一指挥。但是，必须借助于自动化技术，综合考虑机炉电的控制系统，才能实现对单元机组的整体监控。

3. 电子计算机控制

随着自动化技术的发展和电子计算机的应用，促进了火电厂的控制方式朝着综合自动化的方向发展。目前，电子计算机（控制机）的应用功能有开环控制和闭环控制两类。

开环控制是将表征生产过程的有关参数直接输入控制机，经过运算、判断后，控制机输出的控制信息并不直接去控制被控对象，而只是用于指导运行值班人员的操作。用于开环控制的控制机具有数据处理（包括对各监视点参数的巡回检测、数据收集与判断、参数

的显示与报警、打印和制表记录以及运行工况的性能计算)、起停监督和报警分析等功能。

闭环控制是用控制机输出的控制信息去控制被控对象。如果以控制机输出的控制信息作为指令,指挥调节设备和程序控制装置去控制被控对象,称为间接闭环控制;如果控制机输出的控制信息能直接控制被控对象,则称为直接数字控制。目前,普遍采用的是以程控装置为主控,以控制机为监控的间接闭环控制方式。用于闭环控制的控制机除了具有数据处理、起停监督和报警分析等功能外,还应具有起停控制、事故分析、事故处理以及直接数字控制等功能。

第一章 热工测量概论

热工检测也称作热工测量，它是指对生产过程中热工参数（如温度、压力、流量和物位等）的测量。通过热工测量可及时地反映热力设备及热力系统的运行工况，为运行值班人员提供操作的依据，也可作为热工自动化装置提供所需的信号。因此，热工测量是保证热力设备安全、经济运行及实现热力过程自动化的必要手段。

1-1 测量的概念和方法

一、测量及测量过程

测量是人类对自然界的客观事物取得数量观念的一种认识过程。在任何测量过程中，都是借助于专门的测量设备，通过实验方法，将被测量与所选用的测量单位进行比较，求取二者的比值，从而得到以所选用的测量单位表示的被测量的量值。即将被测量的量值 a 乘以测量单位 U_x ，就等于被测量 x ，因此，测量的基本方程式为

$$x \approx aU_x \quad (1-1)$$

式(1-1)中近似等号的意义是考虑到在测量过程中会受到各种因素的影响，使测量结果 aU_x 不可避免地存在着误差，它只能近似等于被测量 x 。由此可见，在进行测量工作时，必须建立测量单位和确定实验方法及测量设备，最后还要估计出测量结果的误差。

测量单位是人为定义的，对同一被测量若选用不同的测量单位将得到不同的量值。为了避免采用不同单位制时的烦琐换算，便于在经济、技术和文化各方面的交流，我国政府已以法令的形式明确规定了在全国统一实行法定计量单位，而且国际间的计量单位制也必将日趋统一。

测量设备也即测量仪表，它是实现被测量与其测量单位相比较的工具。虽然测量仪表的种类繁多，其原理与结构不同，但它们都是使被测量与测量单位在其中进行一次或多次信号形式的转换、传递和比较。因此，在整个过程中难免会有信号的失真和受到干扰，这也是造成测量误差的原因之一。

测量过程中产生测量误差是不可避免的，测量技术的主要任务之一也就是尽量减小测量误差。这不仅要在测量仪表的设计、制造上保证仪表的性能质量，而且还要求仪表在选择和使用上符合规定的技术条件，以取得正确可靠的测量结果。

如果上述测量过程是将被测量与经过精确确定并经国家计量部门认可作为标准的单位相比较来加以测定时，这种测量过程便属于计量的范畴。因此，从这个意义上来说，计量是测量的一种特殊形式。

二、测量的基本方法

一般地说，按照测量结果获得的方式不同，测量的基本方法可分为直接测量和间接测

量。直接测量是用预先定度好的测量仪表进行测量,从仪表的示值直接得到被测量的数值。例如,用米尺测量长度、用温度计测量温度以及用接入电路的电流表测量流过该电路的电流强度等;间接测量是通过直接测量与被测量有确定函数关系的各个物理量,然后用已知的函数关系式计算出被测量的数值。例如,要确定导线的电阻系数 ρ ,则可取一段导线,

分别直接测量其长度 l 、直径 d 及其电阻值 R ,然后按关系式 $\rho = \frac{\pi d^2}{4} \times \frac{R}{l}$ 计算出该导线的 ρ 值。

直接测量方法又可分为直读法和比较法两种方式。直读法是直接从测量仪表的刻度标尺上读出测量结果,即被测量的数值。因此,测量仪表本身的误差必然存在于测量结果之中,但这种方法比较简便,在工业测量中得到广泛应用;比较法是利用一个与被测量同类的已知标准量 N (标准量具)与被测量 x 相比较,根据它们之间的差值 $(N - x)$ 和已知标准量 N 得出被测量 x 的数值。此时,测量仪表本身的误差及其它一些误差在测量过程中能被抵消,测量结果的误差主要取决于标准量具的误差,而标准量具本身的误差一般都比测量仪表的误差小,而且稳定,因此,采用比较法可以得到比较精确的测量结果,但其测量设备比较复杂。

根据不同的比较方式,比较法又可分为下列几种类型:

(1) 零值法:在测量时,使被测量 x 的作用效应与已知标准量(标准量具) N 的作用效应互相抵消(平衡),即总的效应为零,则被测量就等于该已知标准量($x = N$)。例如,用天平称量物重、用电位差计测量直流电压和用平衡电桥测量电阻等都是采用零值法的实例。因此,在零值法中的测量误差主要取决于标准量具的误差,对其零值指示器(检流计)指示的精确性要求不高,但必须具有足够高的灵敏度,才能精确地判断出是否达到平衡。

(2) 差值法:差值法也可看成是一种不彻底的零值法。如果在零值法中被测量 x 的作用效应与已知标准量 N 的作用效应只是部分抵消,即不完全平衡,则根据平衡指示器(零值指示器)指示的差值 $(N - x)$,可得出被测量的数值 $x = N - (N - x)$ 。因此,差值法也称为虚零法。例如,用不平衡电桥线路测量电阻时,可根据电桥不平衡电压或电流的示值来反映被测电阻值。

差值法虽然不象零值法那样几乎全部消除了指示器的误差,但它可大大削弱指示器误差对最终测量结果的影响。即使对差值的测量不十分精确,而仍能得到比较精确的测量结果,尤其是两个相比较的量相差愈微,其测量结果就愈精确。差值法的优点还在于不一定要使用可调的标准量具,并有可能在指示器上直接以最终测量结果进行标定,从而简化了测量手续,使差值法转变为比较精确的直读法。

1 - 2 工业自动化仪表的组成和分类

一、工业自动化仪表的组成

工业自动化仪表的品种繁多,其原理和结构的复杂程度也不一样,但就其部件在接收与传递信息,进行检测与显示或控制的各种功能而言,可看成由敏感元件(传感器)、传输

与变换部件及显示装置三个主要环节所组成。这些环节可以分成许多部件，也可以组合为一个整体，甚至在一些简单的仪表中，各环节的界线都难以明确划分。

1. 敏感元件

敏感元件又称为检测元件、传感器或检测器等。它的作用是直接与被测对象联系，感受被测量的大小，并能根据被测量的变化输出一个相应的信号。由于敏感元件是从被测对象获取被测量的信息并向后面各环节提供原始信号的部件，它能否准确、快速地给出这一信号，在很大程度上决定了整个仪表的测量质量。因此，对敏感元件有以下要求：

(1) 敏感元件的输出信号与被测量之间应有稳定的单值函数关系，最好是线性的，而且这种函数关系能按一定的工艺准确地复现。如果被测物质的其它参数对敏感元件输出信号的影响不能忽略时，应采取补偿或修正等措施予以消除；

(2) 敏感元件的输出特性应具有足够的灵敏度和稳定性；

(3) 在测量过程中，敏感元件应尽量少地消耗被测对象的能量，并尽量避免对被测对象状态的干扰。

2. 传输与变换部件

传输与变换部件的作用是传输敏感元件输出的信号，根据显示装置的不同要求，除了直接传输信号外，有的还需对信号进行必要的加工处理。一般有以下几种功能：

(1) 单纯起传输信号作用。如导线、电缆、信号管路等，对这些传输部件应有一定的要求，防止信号传输失真而造成测量误差；

(2) 将敏感元件输出的信号加以放大，以满足远距离传输和驱动指示、记录机构的需要。如机械式仪表中的杠杆、齿轮传动机构、电子式仪表中的电子放大器等。放大后的信号仍应与被测量的变化有确定的函数关系；

(3) 为了使仪表具有线性刻度，将信号经线性化装置变换为线性化输出，如节流变压降式流量显示仪表中的开方器等。

(4) 变换信号的形式，以满足显示装置的要求。如在 DDZ-II 型电动单元组合仪表中，将各种敏感元件的输出信号转换成 $0 \sim 10\text{mA}$ 的直流电流信号，这个转换是由相应的变送器（变送单元）来完成的。同样，变换后的信号也应与被测量的变化有确定的函数关系。

3. 显示装置

显示装置的作用是显示被测参数的测量结果，即被测量的数值。按仪表显示装置的功能不同可分为：显示被测量瞬时值的指示式仪表；显示被测量对时间积分结果的积算式仪表或积算器；记录被测量随时间变化的记录式仪表以及反映被测量是否超越允许极限值的信号报警式仪表等。此外，还有根据被测量与规定值的偏差情况，发出调节信号对被调对象进行调节控制的调节式仪表等。有些仪表可用于多点测量，巡回显示各被测点的数值。有些仪表具有多种功能，既有指示又可自动记录和发信号等。

按显示装置的显示方式不同，可分为模拟显示、数字显示和图形显示三种类型：

(1) 模拟显示：模拟显示是以仪表的指示器（指针、记录笔等）在刻度标尺上的线位移或角位移的形式来显示被测量的数值，在这里“模拟”具有“连续”的涵义。这类仪

表在结构上一般是由信号放大及变换环节、电-磁偏转机构（或伺服电动机）和指示记录机构等组成。因此，其测量速度和精度都受到一定的限制。另外，在读数上容易造成多值性，即产生视差，因此，需要熟练的操作人员进行读数。但是，这类仪表的结构比较简单、可靠，价格低廉，又容易反映出被测量的变化趋势，而且，目前在科学研究和工业自动化生产中，大多数参数需用记录曲线来代替直接观察，使模拟式指示仪表和记录仪表得到比较广泛的采用。

（2）数字显示：数字显示是以数字形式显示被测量的数值。这类仪表的原理是基于将各种连续的被测量经检测元件输出的模拟信号，通过模-数转换器变成相应的数字编码，然后通过数字显示器进行显示。这类仪表主要由模-数转换器和数字显示器组成。

由于这类仪表没有模拟式显示仪表所具有的电-磁偏转机构或伺服电动机等机械结构（除机械式数字显示外）而具有测量速度快、精度高（分辨力高）、读数直观、复现性好、功能多（如多点巡回、选点显示和其它运算处理等功能）等特点。尤其是将被测量转换成数字量后，便于和程控装置或电子计算机连用，因此，数字显示仪表将越来越广泛地被采用。

（3）图形显示：随着电子计算机在工业自动化领域中的广泛应用，图形显示器已成为计算机的重要外部设备之一，它是一种比较理想的“人-机联系”工具。它不仅能用字符和数字，还可以用图形把被测量的数值、计算机处理过程中的中间数据及处理结果等大量数据按需要显示出来，供操作人员分析判断。操作人员也可以利用计算机的通讯装置（如键盘、光笔等）进行工艺过程修正或追加数据内容，即通过计算机图形显示设备，进行实时的“人-机对话”。

在工业自动化系统中，随着设备的日趋大型化，监控参数的日益增多，集中显示已成为迫切需要解决的问题。因此，图形显示将会随着计算机的广泛应用而得到迅速发展。

二、仪表及测量系统的基本结构型式

从上述仪表组成环节的分析可知，信号在仪表测量系统中的变换一般是多级的，即被测量 x_0 在转变为输出信号 x （指针或记录机构的位移）之前，要经过一系列的中间变换。因此，仪表的测量过程实质上是信号的变换与传递过程，这个过程也包含着信号能量的变换与放大。按照信号的变换关系，即各环节的联接方式不同，仪表的测量系统可分为开环和闭环两种基本结构型式。

1. 开环系统

开环系统中的各个组成环节是互相串联构成的，信号在各组成环节中沿着一个方向传递，其变换方框图如图1-1所示。图中 K_1 、 K_2 、 K_3 、……、 K_n 是各组成环节的输出量

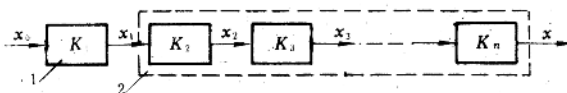


图 1-1 开环测量系统方框图

1—敏感元件（传感器）；2—显示仪表（开环系统）

与输入量之比，称为各组成环节的变换（传递）系数，也就是各组成环节的灵敏度。在稳

定工况下, 仪表测量系统的输入信号 x_0 与输出信号 x 的关系 (即静态特性) 为

$$x = K_1 K_2 K_3 \cdots K_n x_0 = K x_0 \quad (1-2)$$

式中 $K = K_1 K_2 K_3 \cdots K_n$ 是仪表测量系统的传递系数或灵敏度。当 K 为常数时, 仪表测量系统则具有线性的静态特性, 其显示仪表的标尺刻度将是均匀的。

由此可见, 开环测量系统中, 各组成环节的误差都将影响其输出, 所以这种仪表的测量误差较大。

2. 闭环系统

如果在仪表信号的变换传递系统中加入反馈部分, 则可构成闭环系统, 其变换方框图如图1-2所示。图中, 第一个环节是敏感元件 (传感器) 或变送器, 它将被测量 x_0 转变为相应的输出信号 x_1 , 作为具有反馈回路 (一般为负反馈) 的显示仪表的输入信号, 信号在显示仪表内 (虚线框部分) 的传递系统为具有负反馈的闭环系统。这样, 可使仪表的特性得到改善。

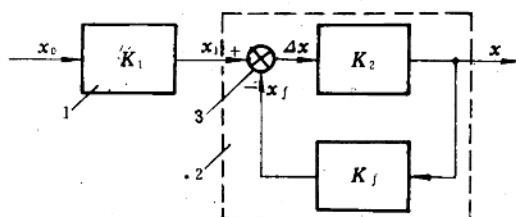


图 1-2 闭环测量系统方框图

1—敏感元件 (传感器); 2—显示仪表 (闭环系统); 3—比较部件

显示仪表的输入信号 $x_1 = K_1 x_0$ (K_1 为传感器的变换系数, 即灵敏度), 它与反馈环节输出信号 x_f 在比较部件中相比较, 其差值信号 Δx 经主回路环节放大与变换; 若主回路的放大系数 K_2 足够大, 则当输入信号 x_1 与反馈环节输出信号 x_f 相平衡, 即 $\Delta x = 0$ 时, 测量系统达到平衡, 此时仪表将输出一个与 x_1 相应的输出信号 x 。它们的关系为

$$x = K_2 \Delta x = K_2 (x_1 - x_f)$$

仪表反馈环节的输出信号 (负反馈信号) x_f 决定于仪表的输出信号 x 和反馈环节的反馈系数 K_f , 即

$$x_f = K_f x$$

所以

$$x = \frac{K_2 x_1}{1 + K_2 K_f} = \frac{x_1}{\frac{1}{K_2} + K_f} \quad (1-3)$$

当 $K_2 \gg 1$ 时, 上式可写成

$$x \approx \frac{1}{K_f} x_1 \quad (1-4)$$

可见, 此时仪表的传递系数或灵敏度为 $\frac{1}{K_f}$, 与主回路环节的变换放大系数 K_2 无关,

因此, 仪表对主回路各环节的性能要求可以降低。也就是说, 对于具有负反馈闭环系统的仪表, 其灵敏度和误差主要由反馈回路的特性来决定。因此, 只要保证反馈环节具有足够的精度和稳定性, 就可使仪表获得较高的测量精度和灵敏度。在这类仪表的实际结构中, 主回路和反馈回路往往包含有多个环节。

对于整个测量系统而言, 输出信号 x 与被测量 x_0 的关系为

$$x = \frac{K_1 K_2}{1 + K_2 K_f} x_0 \approx K_1 \frac{1}{K_f} x_0 \quad (1-5)$$

所以, 整个测量系统的传递系数或灵敏度为 $\frac{K_1}{K_f}$ 。其灵敏度和误差将由传感器和显示仪表的特性 (K_1 和 K_f) 所决定。

三、工业自动化仪表的分类

由于工业自动化仪表的用途、原理及结构等的不同, 其分类方法也很多, 一般可按下列几种方法分类。

(1) 按被测参数的类型分类: 有热工量 (包括温度、压力、流量、物位等) 仪表、机械量 (如位移、厚度、应力、振动、速度等) 仪表、电工量 (如电流、电压、相位、频率等) 仪表以及成分分析仪表 (如测定物质酸度、粘度、导电度、浓度的仪表和分析气体成分的分析器等)。

(2) 按仪表的显示功能分类: 有指示式、记录式、积算式、信号报警式 (盲式) 和调节式仪表等。

(3) 按仪表采用的信号能源分类: 有气动式、液动式、电动式和电子式仪表等。

(4) 按仪表的结构情况分类: 有基地式和单元组合式仪表等。

(5) 按仪表的安装地点分类: 有就地式和远距离传送式仪表等。

(6) 按仪表在自动化系统中的功能分类: 有检测仪表、显示仪表、调节仪表和执行器等。

(7) 按仪表的使用方式分类: 有携带式和固定式仪表等。

(8) 按仪表的精度等级和使用条件分类: 有标准仪表、实验室用仪表和工业用仪表等。

1-3 测量误差概述

在实际测量工作中, 总是存在着各种各样的影响因素, 例如, 对被测对象本质认识的局限性、测量方法不完善、测量设备不精确、测量过程中条件的变化、测量工作中的疏忽或错误以及其它偶然因素的影响等, 都会使测量结果与被测量的真实值之间存在着一定的差值。也就是说, 测量误差的存在是不可避免的。因此, 对于所得到的测量结果是否符合被测量的真实值, 其可信程度如何? 应该做出正确的估计。而且还要分析测量误差产生的原因及误差的性质, 以便寻求消除或减小测量误差的方法, 保证测量结果尽可能地接近于被测量的真实值, 满足测量精确度的要求。