



普通高等教育“十二五”规划教材

能源动力类专业

热工过程控制仪表

潘维加 主编

行业
精品



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

能源动力类行业精品系列教材

流体力学	王松岭
工程流体力学 (第三版)	周云龙
工程流体力学习题解析	周云龙
泵与风机 (配光盘)	安连锁
热工基础	王修彦
锅炉原理	樊泉桂
锅炉课程设计指导书	李加护
锅炉原理同步导学	王世昌
大型锅炉运行	张 磊
汽轮机原理 (少学时)	谢诞梅
燃气轮机与联合循环	姚秀平
热力发电厂 (第四版)	叶 涛
热力发电厂课程设计	陈爱萍
火电厂热力设备及运行——汽轮机部分	李慧君
大型汽轮机运行	孙奉仲
单元机组集控运行	张 磊
工程燃烧学	汪 军
燃烧理论与技术	李永华
汽轮机发电机组振动与处理	李录平
动力工程概论	付忠广
发电厂动力部分 (第二版)	关金峰
发电厂电气设备及运行 (第二版)	宗士杰
自动控制原理	于希宁
电厂金属材料 (第四版)	宋琳生
热工保护与顺序控制 (第二版)	王志祥
热工过程控制仪表	潘维加
热工控制系统	边立秀
热工自动控制系统	潘 笑
热工过程自动调节 (第二版)	丁轲轲
可编程控制器应用技术	范永胜
过程参数检测及仪表	常太华
单元机组运行原理	杨建蒙
电厂燃料	汪红梅
锅炉水处理初步设计 (第二版)	丁桓如
热力设备的腐蚀与防护	谢学军
火电厂水处理技术	许立国
火电厂应用化学	许佩瑶
水分析化学	谢协忠
电厂化学专业英语	李宇春
能源动力类专业英语	车德勇

中国电力出版社教材中心

教材网址 <http://jc.cepp.sgcc.com.cn>

服务热线 010-63412706 63412548



ISBN 978-7-5123-3651-3



9 787512 336513 >

定价: 33.00 元



普通高等教育“十二五”规划教材

能源动力类专业

热工过程控制仪表

主编 潘维加
编写 王鸿懿
主审 牛玉广



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书为普通高等教育“十二五”规划教材。本书共分两篇。第一篇为现场控制仪表,主要讲述除“热工测量及仪表”课程以外的热工过程控制仪表的组成原理,它是进一步学习集散控制系统的理论基础,包括变送器、调节器和执行器。第二篇为集散控制系统,相当于盘台安装仪表,主要讲述集散控制系统的组成原理及工程应用,包括集散控制系统的基本概念、数据通信系统、硬件设备、软件结构、可靠性、抗干扰技术、工程设计和应用。

本书可作为普通高等院校本科自动化(热工自动化)专业、检测技术与仪器专业、电厂热能动力工程专业等相关专业的教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

热工过程控制仪表 / 潘维加主编. —北京: 中国电力出版社, 2012. 11

普通高等教育“十二五”规划教材

ISBN 978-7-5123-3651-3

I. ①热… II. ①潘… III. ①热力工程—过程控制—热工仪表—高等学校—教材 IV. ①TK32

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 259334 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 2 月第一版 2013 年 2 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 450 千字

定价 33.00 元

敬告读者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



前 言

“热工过程控制仪表”是自动化（热工自动化）专业的主要专业课程之一，它主要讲述火电厂实现过程控制的自动控制装置的组成原理及其应用。随着电子技术、通信技术和计算机技术的发展，热工过程控制仪表几经换代，目前已经进入了集散控制系统时代。为了适应生产现场知识更新的需求，编写了本书。

本书的主要特色是：根据当今火电厂热工自动化的发展现状，保留了自动化（热工自动化）专业学生应该掌握的模拟控制仪表的相关知识，增加了生产现场所需的最新知识；在教学内容的编排上，避免了烦琐的理论推导，注重工程实际应用；由现场控制仪表逐步过渡到集散控制系统，体现了由实物学习到抽象学习的渐近过程。

本书的教学内容是在教学讲义的基础上经过精心提炼形成的，它是自动化（热工自动化）专业学生必须具备的基础知识，教学内容的编排和取舍是作者多年教学、科研和现场调试经验的总结。

本书由长沙理工大学潘维加教授主编，并编写第一章、第五～十三章；长沙理工大学王鸿懿副教授编写了第二～四章，全书由潘维加统稿。

华北电力大学博士生导师牛玉广教授担任本书主审，主审老师认真审阅了全稿并提出了许多宝贵意见，对提高本书的质量起了重要作用，在此表示诚挚的谢意。

本书编写过程中，参阅了书后列出的参考文献，在此对涉及的有关单位和作者一并致谢。

编 者

2012 年 12 月



目 录

前言

第一篇 现 场 控 制 仪 表

第一章 概述	1
第一节 过程控制仪表的概念和发展	1
第二节 过程控制仪表的组成原理和分类	5
第三节 过程控制仪表联络信号和传输方式	11
第四节 过程控制仪表的抗干扰技术	14
小结	21
思考题	22
第二章 变送器	23
第一节 变送器的组成原理及工作特性	23
第二节 差压变送器	25
第三节 温度变送器	35
小结	41
思考题	41
第三章 调节器	42
第一节 调节器的调节规律和构成方式	42
第二节 模拟调节器	49
第三节 数字调节器	54
小结	60
思考题	61
第四章 执行器	62
第一节 电动执行机构	62
第二节 气动执行机构	77
第三节 液动执行机构	82
第四节 调节机构	87
第五节 调速执行机构	95
小结	101
思考题	102

第二篇 集散控制系统

第五章 集散控制系统的基本概念	103
第一节 集散控制系统的发展过程	103
第二节 集散控制系统的组成	106
第三节 集散控制系统的分类	109
第四节 集散控制系统的特点	110
第五节 集散控制系统的结构分析	112
小结	114
思考题	115
第六章 集散控制系统的数据通信系统	116
第一节 数据通信的基本概念	116
第二节 集散控制系统的通信网络	120
第三节 集散控制系统差错控制技术	124
第四节 集散控制系统的网络协议	129
第五节 局域网络互联	138
小结	139
思考题	140
第七章 集散控制系统的硬件设备	141
第一节 概述	141
第二节 过程控制设备	142
第三节 过程管理设备	151
第四节 系统通信设备	156
小结	160
思考题	160
第八章 集散控制系统的软件结构	161
第一节 集散控制系统软件分类	161
第二节 现场控制站软件系统	163
第三节 过程管理工作站软件系统	171
小结	176
思考题	177
第九章 集散控制系统的可靠性	178
第一节 概述	178
第二节 系统可靠性指标	179
第三节 集散控制系统可靠性分析	181
第四节 提高集散控制系统可靠性措施	184
小结	186
思考题	186

第十章 集散控制系统的抗干扰技术	188
第一节 概述.....	188
第二节 硬件抗干扰技术.....	189
第三节 软件抗干扰技术.....	193
小结.....	198
思考题.....	198
第十一章 集散控制系统工程设计	199
第一节 图形符号和文字符号.....	199
第二节 集散控制系统工程设计与实施.....	206
小结.....	214
思考题.....	214
第十二章 火电厂集散控制系统应用实例简介	216
第一节 Industrial IT Symphony 集散控制系统	216
第二节 Ovation 集散控制系统	236
第三节 I/A Series 集散控制系统	256
第四节 Teleperm-XP 集散控制系统.....	267
小结.....	276
思考题.....	276
第十三章 集散控制系统展望	277
第一节 集散控制系统硬件展望.....	277
第二节 集散控制系统软件展望.....	278
第三节 集散控制系统通信系统展望.....	280
小结.....	280
思考题.....	280
附录 主要名词术语中英文对照	281
参考文献	288

第一篇 现场控制仪表

第一章 概 述

在现代生产过程中，为保证生产安全顺利进行，达到优质高产，提高经济效益和劳动生产率，节约能源，改善劳动条件和保护环境目的，必须对生产过程的各种参数以及各种物料的成分等进行自动控制。所谓生产过程自动化是指在无人直接参与的情况下，通过过程控制设备（即自动化仪表）使生产过程自动地按照预定的规律运行。自动化仪表是实现生产过程自动化的重要工具，是对生产过程工艺变量进行检测、显示、控制和执行等仪表的总称。

考虑到过程检测技术一般在相关课程（热工测量及仪表）中进行专门介绍，为避免重复并突出重点，本书所介绍的自动化仪表是指除检测、显示仪表之外的其他自动控制设备，包括变送器、调节器和执行器等。

第一节 过程控制仪表的概念和发展

一、过程控制仪表的概念

正常运行的生产过程或设备必须保证产品满足一定数量和质量的要求，同时也要保证生产过程或设备的安全性和经济性，因此要求生产过程或设备在规定的工况下运行。由于生产过程受多种因素影响，如果不进行操作和控制就不能保证生产过程的正常进行。生产过程是否正常，通常是用生产过程中的各种物理量或化学量来表征的。当这些变量偏离所希望的数值时，就表示生产过程离开了规定工况，必须加以调节。生产过程的调节分为人工调节（手动）和自动调节（自动）两种，人工调节是基本的调节，自动调节是在人工调节的基础上产生和发展起来的。

（一）人工调节与自动调节

1. 人工调节

以火电厂汽包锅炉水位人工调节为例。汽包锅炉水位人工调节如图 1-1 所示。

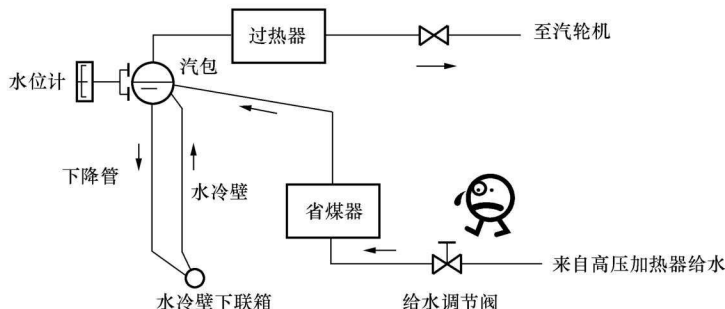


图 1-1 锅炉汽包水位人工调节

来自高压加热器的给水经省煤器加热后进入汽包，给水调节阀的作用是调节汽包水位。为了便于操作人员观测水位，通常在汽包上设置水位计。操作人员根据水位计的指示，不断地改变调节阀的开度，控制进入汽包的给水量，从而使水位保持在要求的数值上，这就是人工调节。

人工调节的规律是：当操作人员从水位计上观察到的数值低于要求的水位数值时，则开大调节阀门，增大给水流量，使水位上升到要求的数值；当操作人员从水位计上观察到的数值高于要求的水位数值时，则关小给水调节阀门，减小给水流量，使水位下降到要求的数值；当操作人员从水位计上观察到的数值等于要求的水位数值时，则不作任何操作，保持给水调节阀门开度不变。

从人工调节过程可以看出，人工调节可分为观察、分析和判断、操作三部分。人工调节过程就是“检测偏差、纠正偏差”的过程。

2. 自动调节

如果采用过程控制仪表来代替操作人员的操作过程，使生产过程不需要操作人员的直接参与而能自动地完成人工调节的任务，这就是自动调节。汽包锅炉水位自动调节如图 1-2 所示。

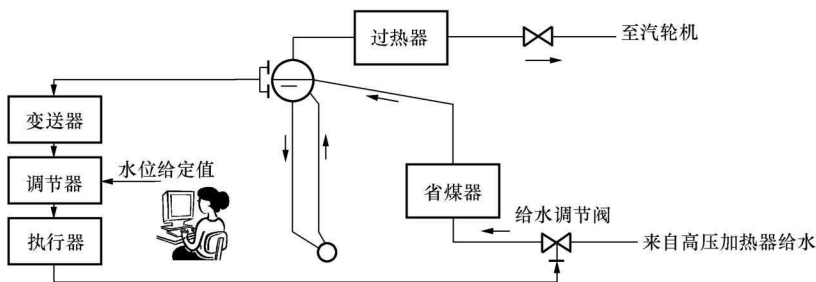


图 1-2 汽包锅炉水位自动调节示意

图中，变送器用来测量汽包水位，相当于操作人员用“眼睛”观察汽包水位；调节器将汽包实际水位与水位给定值进行比较，并计算出需要改变的给水量，相当于操作人员用“大脑”分析和判断；执行器接收调节器输出的需要改变的给水量信号，控制给水调节阀开度，改变给水量，相当于操作人员用“手臂”操作。

自动调节过程是：当汽包水位不等于水位给定值时，调节器根据偏差计算出需要调整的给水量指令，并发送给执行器，执行器按照这一指令去操作给水调节阀门，调节效果如何，再由变送器测量出水位的变化，并将这一信号送给调节器，再次与水位给定值比较。根据偏差，调节器再发出调节指令，执行器再次改变给水调节阀门的开度，直到调节过程达到一个新的平衡状态为止，这就是自动调节过程。

（二）过程控制仪表的概念

从图 1-2 可以看出：要想取代人工调节，实现自动调节，必须采用变送器、调节器和执行器等自动控制设备，将取代人工调节的自动控制设备称为过程控制仪表（或自动化仪表）。在生产过程中，过程控制仪表主要包括检测仪表（传感器和变送器）、显示和记录仪表、信号处理仪表（调节器、运算器和操作器等）和执行器（执行机构和调节机构）。

1. 检测仪表（传感器和变送器）

检测仪表对过程参数进行测量和信号转换。检测仪表主要包括传感器和变送器。传感器的作用是将被控参数检测出来；变送器是对检测出来的信号进行转换，将其变换成统一的标准信号。检测仪表是现场安装仪表。

2. 显示和记录仪表

显示和记录仪表用来指示和记录过程参数，是盘装或柜装仪表。目前，大型火电厂已取消了显示和记录仪表，用计算机指示和记录过程参数。

3. 信号处理仪表（调节器、运算器和操作器）

信号处理仪表是对被调参数实现各种数学运算和监控。信号处理仪表主要包括调节器、运算器和操作器。调节器的作用是对被调参数进行调节，使其满足生产过程的要求；运算器的作用是实现对被调参数的运算，以构成复杂的控制系统；操作器的作用是实现自动/手动切换和手动操作。信号处理仪表也是盘装或柜装仪表。目前，大型火电厂已用计算机代替了调节器、运算器和操作器。

4. 执行器（执行机构和调节机构）

执行器是用来执行调节系统中的调节指令，使生产过程按规定的要求运行。执行器主要包括执行机构和调节机构。执行机构接收来自调节器的输出信号，并将其转换成直线位移或角位移，以改变调节阀的通流面积，从而控制流入或流出被控对象的物料或能量。调节机构又称调节阀，其作用是根据执行机构的推力或位移，改变阀芯与阀座间的通流面积，以达到最终调节被控介质的目的。执行器属于现场安装仪表。

二、过程控制仪表的发展

（一）18 世纪以前

公元前 14~公元前 11 世纪，中国和巴比伦出现了自动计时装置——刻漏，为人类研制和使用自动装置的开始。

公元 1 世纪，古埃及和希腊的发明家希罗（Cicero）制造了教堂庙门自动开启、铜祭司自动洒圣水、投币式圣水箱等自动装置。

公元 117 年，中国东汉的天文学家张衡（78~139）创制了一种天文表演仪器，可以用来实现天体运行的自动仿真，是现今天球仪的鼻祖。公元 132 年发明了一种观察地震的自动检测仪器——候风地动仪，它能即时检测地震的方位。

据史书记载，三国时代魏国的马均（230 年前后）、南齐的祖冲之（429~500）都曾经制造过久已失传的指南车。

公元 1088 年，中国的苏颂等人把浑仪（天文观测仪器）、浑象（天文表演仪器）和自动计时装置结合在一起建成了水运仪象台。

公元 1135 年，中国的燕肃在“莲花漏”中采用三级漏壶和浮子式阀门自动装置调节液位。

荷兰的科尼利厄斯·德贝尔（Cornelius·Drebbel，1572~1633）发明了温度调节器。

公元 1642 年，法国物理学家 B. 帕斯卡（Pascal）发明了加法器。

公元 1657 年，荷兰机械师 C. 惠更斯（Huygens）发明了钟表。

公元 1681 年，丹尼斯·派宾（Dennis·Papin，1647~1712）发明了第一个锅炉压力调节器。

公元 1745 年,英国机械师 E. 李 (Lee) 发明了带有风向控制的风磨。

公元 1765 年,俄国机械师 И. 波尔祖诺夫 (Ползунов) 发明了蒸汽锅炉水位保持恒定的浮子式阀门水位调节器。

(二) 18 世纪末至 20 世纪 30 年代

公元 1788 年,英国机械师 J. 瓦特 (James Watt, 1736~1819) 发明了飞球调速器 (或称离心调速器), 它被用来控制蒸汽机的转速。

公元 1868 年,法国工程师 J. 法尔科 (Farcot) 发明了反馈调节器, 并把它与蒸汽阀连接起来, 操作蒸汽船的舵。

到了 20 世纪 20~30 年代, 美国开始采用 PID 调节器 (比例积分微分调节器)。

(三) 20 世纪 40 年代以来

自 20 世纪 40 年代开始, 工业生产过程陆续采用自动检测及控制以取代人工操作。工业过程控制仪表的发展经历了从气动仪表到电动仪表、从现场就地控制到中央控制室控制、从仪表盘 (屏) 上监视操作到计算机操作站操作、从模拟信号到数字信号等过程。各国科学家设计出各种精密的自动调节装置。

20 世纪 50 年代是电子真空管时代, 工业生产规模比较小, 检测和控制仪表主要采用基地式仪表和气动单元组合仪表, 20~100kPa 气动信号作为统一标准信号, 记录仪是电子管式的自动平衡记录仪。这一时期, 我国火电厂单机容量较小, 采用的过程控制仪表主要是机械式和气动仪表。

20 世纪 60 年代, 随着工业规模的不断扩大, 工业生产过程要求集中操作与控制。在这期间, 过程控制仪表开始用电动仪表, 电子管由晶体管代替, 开发出以半导体分离元件制造的 DDZ-II 型电动单元组合仪表, 统一信号标准为 0~10mA (DC)。采用中央仪表控制室对工业生产过程进行操作、监视与控制, 同时, 计算机开始在工业生产过程中应用, 实现直接数字控制 (direct digital control, DDC)。这一时期, 我国火电厂单机容量为 50MW 及以下等级的机组, 采用的过程控制仪表主要是从前苏联进口的机械式调节器和电子式调节器, 还有我国仪表部门参考前苏联仪表研制出的 DDZ-I 电动单元组合仪表 (电子管和磁放大器型) 和气动单元组合仪表 QDZ-I (气动放大元件)。

20 世纪 70 年代, 由于集成电路和微处理器的工业化生产, 使电动仪表更可靠, 很快开发出 DDZ-III 型电动单元组合仪表, 统一信号标准为 4~20mA (DC) 和 1~5V (DC)。这一期间, 以微处理器为核心的集散控制系统 (distributed control system, DCS) 的出现, 代替了原有集中式 DDC 系统, 在工业生产过程中开创了计算机控制的新时代。这一期间, 我国火电厂单机容量为 100MW 单元机组及以下等级的机组广泛采用 DDZ-II 型电动单元组合仪表。

20 世纪 80 年代是 DCS 广泛在工业生产过程控制中应用的年代。同时, 过程控制仪表数字化、智能化不断创新, 网络和通信技术引入到自动控制系统中, 友好的人机界面, 以及工业电视等成为工业自动化的重要手段之一。国内过程控制仪表行业有关单位正着手开发以微机芯片为基本器件的 DDZ-S 型第四代电动单元组合仪表。这一期间, 我国火电厂单机容量为 125MW 等级的单元机组和 200MW 等级的单元机组仍广泛采用组件组装仪表 (TF-900、MZ-III、SPEC-200) 和单回路调节器 (VI87、KMM)。单机容量为 300MW 单元机组开始采用 DCS。

20 世纪 90 年代,随着市场对产品要求多样化、高品质,而工业生产本身要求低能耗、低成本,迫切要求过程控制仪表高精度、高可靠性,从而在线分析仪表大量在工业生产过程中采用。同时,开发出比 DCS 价格更廉价的现场总线控制系统 (fieldbus control system, FCS) 和智能仪表。这一期间,我国火电厂单机容量为 300MW 等级及以上的单元机组广泛采用 DCS,单机容量为 200MW 等级及以下单元机组控制仪表进行了改造,用 DCS 取代常规的模拟控制仪表。

21 世纪,随着 DCS 和 FCS 的逐渐融合和 FCS 成功应用的实例,DCS 和 FCS 将广泛应用于过程控制领域。DCS 从 20 世纪 70 年代中期开始应用于生产过程直到现在,已经经历了四代产品。关于 DCS 的发展历程将在第二篇中详细介绍。

第二节 过程控制仪表的组成原理和分类

一、过程控制仪表的组成

模拟控制仪表在结构上一般均由若干部分组成,它们可以是机械部件、电磁器件和电子线路。通过这些组成部分使整台仪表实现信号的转换、放大、运算等功能。一般从仪表输入端到输出端之间信号要经过一系列变换,在信号的变换过程中,必然要受到仪表内部因素如摩擦力、弹性力、间隙、气隙、非线性、噪声等的影响,也要受到外部因素如大气压力、环境温度和湿度、供电电源、外部电磁场和重力场、噪声等的影响。这些因素对信号的正常变换,即对仪表的准确度和其他性能带来不利的影响,从而增加了仪表设计、制造和使用的困难。

(一) 开环式仪表和闭环式仪表

按照信号在仪表中的传递变换过程以及仪表各组成部分的功能特点,可以将仪表看成由若干个环节组成的。由各环节串联 (或并联) 所构成的仪表称为开环式仪表,如图 1-3 (a) 所示;具有反馈的仪表称为闭环式仪表,如图 1-3 (b) 所示,闭环式仪表一般采用负反馈方式。

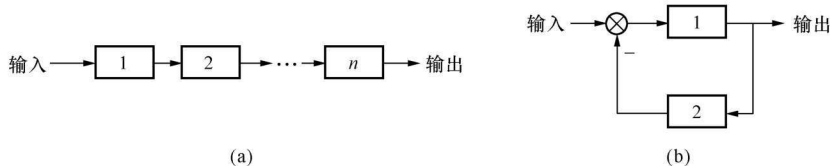


图 1-3 过程控制仪表的基本构成框图

(a) 串联开环式仪表; (b) 闭环式仪表

1. 开环式仪表

开环式仪表的各组成环节是串联的,因而信号的传递是采用级与级之间的直接变换形式。整机的传递函数为各环节传递函数的乘积。每一个环节的内部影响因素和外部影响因素必然以累积的效果直接影响仪表的总性能,如仪表的准确度、灵敏度、非线性误差、来回变差和反应时间等。为了保证整机的准确度,必须减少每个环节的误差。为了提高仪表的灵敏度,可采用增加仪表组成环节的方法,但这将使仪表的总误差也随之加大。也就是说,对于

开环式仪表，提高灵敏度与准确度之间存在着矛盾。

2. 闭环式仪表

自动控制原理告诉人们，将开环系统改成闭环系统，再采取提高增益、加深负反馈的方法，可大大改善系统的静态和动态性能。这一理论对于构造自动化仪表同样具有重要指导意义。闭环式仪表就是利用负反馈原理开发的自动化仪表，它有效地克服了仪表内部和外部因素的不利影响，提高了仪表的性能，实现了一定的运算关系，获得所需要的输出特性，从而成功地解决了开环式仪表存在的问题。

(二) 负反馈组成原理及应用

1. 负反馈组成原理

按负反馈原理构成的各种模拟量控制仪表，不管其结构如何复杂，都可以用图 1-4 所示的原理框图来表示。

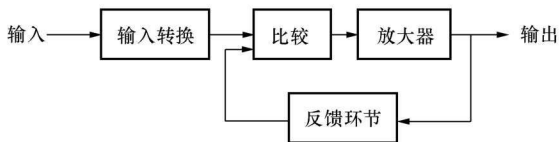


图 1-4 模拟量控制仪表的组成原理

设放大器的放大倍数为 K ，反馈环节传递函数为 $G_f(s)$ ，输入转换环节的传递函数为 1，则模拟量控制仪表的传递函数为

$$G(s) = \frac{K}{1 + KG_f(s)} = \frac{1}{\frac{1}{K} + G_f(s)} \quad (1-1)$$

当 $K \gg 1$ 时，有

$$G(s) \approx \frac{1}{G_f(s)} \quad (1-2)$$

式 (1-2) 表明，当放大器的放大倍数 K 足够大时，整个模拟量控制仪表的传递函数等于反馈环节传递函数的倒数，而与放大器无关。

对于仪表中的放大器， $K \gg 1$ 的条件普遍都是满足的，因此反过来说，如果要求模拟控制仪表具有已知的动态特性，则仪表反馈环节的传递函数应为该仪表传递函数的倒数，即

$$G_f(s) = \frac{1}{G(s)} \quad (1-3)$$

2. 负反馈组成原理在控制仪表中的应用

(1) 实现调节器的动作规律。在调节器内部反馈回路中，采用不同的环节，就得到不同的动作规律。例如：要实现比例积分 (PI) 动作规律，则该仪表反馈环节的传递函数应为 PI 调节器传递函数的倒数，即

$$G_f(s) = \frac{1}{\frac{1}{P} \left(1 + \frac{1}{T_I s} \right)} = \frac{PT_I s}{1 + T_I s} \quad (1-4)$$

式中： P 为调节器的比例带， T_I 为调节器的积分时间。

式 (1-4) 为实际微分环节，因此用一个实际微分环节作为一个放大倍数足够大的放大器的反馈部分，就可得到一个理想的 PI 调节器。

(2) 仪表特性的线性化。一些检测元件和仪表具有非线性特性，例如：温度变送器采用铂铑-铂 (S) 热电偶作为一次元件，而热电偶输出热电动势的非线性误差较大，当温度在

0~1000℃范围变化时可达6%左右。为使温度变送器的输出电信号与被测温度呈线性关系,可采用非线性负反馈的方法,即在反馈回路中加一个非线性函数发生电路,其输入与输出之间的函数关系为热电偶的非线性(静特性),这样可使温度变送器特性线性化。线性化温度变送器方框图如图1-5所示。

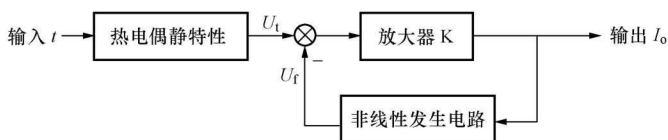


图 1-5 线性化温度变送器方框图

图中： t 为被测温度， U_t 为热电偶输出热电动势， U_f 为反馈环节的输出电压， I_o 为温度变送器的输出。因为 $K \gg 1$ ，所以 $U_t \approx U_f$ 。设热电偶输出电动势 U_t 和温度 t 之间的函数关系为 $U_t = f_t(t)$ ，而非线性函数发生电路输出 U_f 和输入 I_o 之间的函数关系为 $U_f = f_f(I_o)$ ，所以有 $f_t(t) \approx f_f(I_o)$ ，因为反馈环节的非线性与热电偶的非线性完全一致，所以温度变送器输出电流 I_o 与温度 t 呈线性关系。

此外，当反馈部分为线性环节时，可以消除闭环中前向环节本身非线性的影响，使仪表具有线性的输出特性。

(3) 实现规定的数学运算。式(1-3)表明，反馈环节与整个仪表在运算功能上恰好是相反的，据此，可以实现规定的数学运算。例如：可以使仪表的反馈环节完成平方运算而制成开方器，使反馈环节完成乘法运算而制成除法器。

(4) 改变仪表的时间常数。设仪表的前向环节为惯性环节 $K/(Ts+1)$ (其中： K 为传递系数， T 为时间常数)，反馈环节为比例环节 F ，则仪表的传递函数为

$$G(s) = \frac{\frac{K}{Ts+1}}{1 + \frac{K}{Ts+1}F} = \frac{\frac{K}{1+KF}}{1 + \frac{T}{1+KF}s} \quad (1-5)$$

可见，时间常数 T 减少了 $(1+KF)$ 倍，同时增益也下降了 $(1+KF)$ 倍。时间常数的减小，使仪表具有较快的响应速度。

(5) 使仪表同时获得高准确度和高灵敏度。仪表灵敏度和误差理论分析表明：由于前向环节和负反馈环节的误差具有相反的符号，前向环节的误差得以抵消或减小，仪表的相对误差小于未加负反馈时前向环节的相对误差。当负反馈深度足够大时，闭环式仪表的灵敏度和准确度都主要由反馈回路的特性来决定。因此，提高前向环节的放大倍数，减小反馈环节的误差，可以使仪表同时获得高准确度和高灵敏度。

二、过程控制仪表的分类

(一) 按能源形式分类

过程控制仪表按所用能源形式的不同，分为自力式、气动、电动、液动和混合式五类。

1. 自力式控制仪表

自力式控制仪表不需要外界补充能源，直接利用被控介质本身的能量去推动调节机构。例如：膨胀式温度计、弹簧管式压力计、飞球式调速器和浮球式水位调节器等。

2. 气动控制仪表

气动控制仪表是指采用气压信号作为联络信号的控制仪表。气动控制仪表已有几十年的历史，在 20 世纪 60 年代以前，它是工业自动化的重要控制设备。气动控制仪表的特点是结构简单、直观、易于掌握；性能稳定，可靠性高，具有安全防爆性能，特别适用于有爆炸危险的场合。国际上统一使用 20~100kPa 的气压信号，作为气动仪表之间的联络信号。

气动控制仪表广泛应用于石油、化工、轻工等部门，电力部门虽很少采用成套的气动控制仪表，但却采用气动执行器。

3. 电动控制仪表

电动控制仪表是指采用电信号作为联络信号的控制仪表。电动控制仪表始于 20 世纪 50 年代，但由于其能源获取、信号传输及放大、变换处理比气动控制仪表容易得多，又便于实现远距离监视和操作，因而电动控制仪表的应用更为广泛。电动控制仪表的防爆问题已得到了很好的解决。国际电工委员会（international electrotechnical commission, IEC）将 4~20mA（DC）电流信号和 1~5V（DC）电压信号确定为电动控制仪表的标准联络信号。

目前，电动控制仪表已成为工业自动化的主要技术工具，广泛应用于电力、化工、石油、冶金、轻工等部门。

4. 液动控制仪表

液动控制仪表是指采用液压信号作为联络信号的控制仪表。液动控制仪表也发展较早，它结构简单，工作可靠，但动作速度较低、设备笨重，多用于功率较大的场合。

目前，火电厂汽轮机调速系统的执行器部分采用液压调节系统。

5. 混合式控制仪表

混合式控制仪表是指既采用电信号又采用液压或气压信号作为联络信号的控制仪表。例如：汽轮机调速系统中的电液转换器、水轮机调速系统中的电液复合调速器等。

（二）按信号类型分类

控制仪表按信号类型分为模拟式和数字式。

1. 模拟式控制仪表

模拟式控制仪表的传输信号通常为连续变化的模拟量。这类仪表线路简单，操作方便，价格较低，在设计、制造、使用上均有成熟的经验。模拟式控制仪表主要有电动单元组合式控制仪表（DDZ 系列）和组件组装式控制仪表（TF-900、MZ-Ⅲ、SPEC-200）等。

长期以来，模拟式控制仪表广泛地应用于各工业部门。目前，大型火电厂仍广泛采用模拟变送器和执行器。

2. 数字式控制仪表

数字式控制仪表的传输信号通常为断续变化的数字量。数字式控制仪表以微处理器为核心，其功能完善，性能优越，它能解决模拟式仪表难以解决的问题，满足生产过程的高质量控制要求。数字式控制仪表主要有单回路调节器（VI-87、KMM）等。

数字式控制仪表适用于小规模生产过程的控制，但它可以通过通信接口挂到数据通道上，与个人计算机（personal computer, PC）或 DCS 连接起来，实现中、大规模生产过程的控制和管理。

（三）按结构形式分类

控制仪表按结构形式分为基地式、单元组合式、组件组装式、集散控制型、现场总线控制仪表五类。

1. 基地式控制仪表

基地式控制仪表是将检测、转换、放大、显示、调节等部件设计成一个整体装置。它不仅能对某变量进行指示或记录，而且还具有控制功能。基地式控制仪表一般结构比较简单，价格便宜，能一机多用，常用于单参数、单回路的简单控制系统。

我国生产的 XCT 系列控制仪表和 TA 系列电子调节器均属于基地式控制仪表。

2. 单元组合式控制仪表

单元组合式控制仪表是将整套仪表分为若干个能实现一定功能的单元，各单元之间以统一标准信号互相连接，应用时只要几种单元进行不同的组合，便可构成形式多样、复杂程度不等的自动控制系统。这种仪表应用方便灵活，通用性强，便于生产、维护，库存备品少，适用于中、小企业的自动化系统。

在我国，单元组合式控制仪表有气动单元组合式控制仪表（QDZ）和电动单元组合式控制仪表（DDZ）两大系列。

电动单元组合式控制仪表的主要特点是整套仪表分为若干个独立功能单元，各功能单元之间以统一标准信号联系，可以灵活组合各种控制系统。电动单元组合式控制仪表（DDZ-II）组成的简单调节系统如图 1-6 所示。

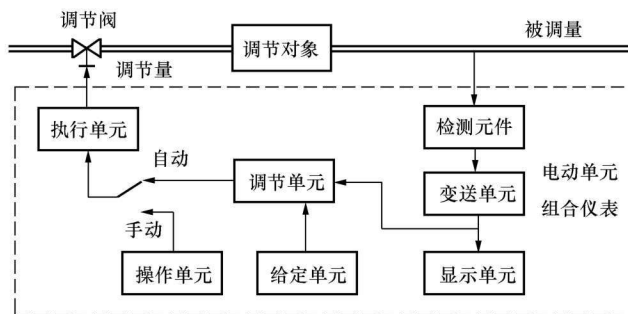


图 1-6 电动单元组合式控制仪表组成的单回路调节系统

电动单元组合式控制仪表分为 DDZ-I、DDZ-II、DDZ-III 和 DDZ-S 型。

3. 组件组装式控制仪表

组件组装式控制仪表是将整套仪表的调节、运算和控制功能部分与显示、操作功能部分分开，分为控制机柜和显示操作盘两大部分。控制机柜中以插接方式密集安装若干具有独立功能的“功能组件”；显示操作盘是人机联系部分，集中布置与监视、操作有关的盘装仪表。组件组装式控制仪表以模拟器件为主，兼用了模拟技术和数字技术，可与工业控制机、程控装置、图像显示等新技术工具配合使用。它适用于效率高的大型设备的自动化。组件组装式控制仪表（TF-900）组成的简单调节系统如图 1-7 所示。

在我国，组件组装式控制仪表主要有自行研制的 TF-900 型和 MZ-III 型，还有引进生产的 SPEC-200 型。随着数字仪表和集散控制系统的兴起，目前组件组装式控制仪表在工程实际中已很少使用。