



调节器与执行器

王家桢 编著



清华大学出版社
<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

自动化技术丛书

调节器与执行器

王家桢 编著

清华大学出版社

(京)新登字 158 号

内 容 简 介

本书以自动调节和控制功能为主线,由浅入深地介绍了常用的调节器和执行器的原理和性能。

书中首先介绍有关自动调节和控制的共同性知识及名词术语,然后介绍了控制用元器件,即传统的电磁器件和无触点的电力电子器件。在此基础上介绍以通断方式为主的自动控制仪表,包括可编程控制器和开关式调节器。接下来介绍以连续动作为主的自动调节仪表,有基地式、自力式、单元组合式调节器及单回路可编程调节器。其后是调节阀及气动、电动执行器。

本书结合常见的浅显易懂的实例,用通俗的文字介绍自动调节和控制的一般方法及所用仪表装置,适合于大专以上文化水平的科技人员和大专院校师生作为教材或自学参考之用。

图书在版编目(CIP)数据

调节器与执行器/王家桢编著. —北京:清华大学出版社,2000.10

(自动化技术丛书)

ISBN 7-302-04113-X

I. 调… II. 王… III. ①调节器 ②执行器 IV. TH86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 77674 号

出版者:清华大学出版社(北京清华大学学研大厦,邮编 100084)

<http://www.tup.tsinghua.edu.cn>

印刷者:北京昌平环球印刷厂

发行者:新华书店总店北京发行所

开 本:787×1092 1/16 印张:12.5 字数:285 千字

版 次:2001 年 3 月第 1 版 2001 年 3 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 7-302-04113-X/TP·2424

印 数:0001~4000

定 价:17.00 元

出 版 说 明

实施科教兴国战略,促进科技、教育与经济建设紧密结合已成为我国发展经济的重要方针。为了贯彻这一方针,我国的传统产业正面临新技术改造,产业结构正在进行调整,高新技术产业也在加快发展。其中,自动化技术发挥着十分重要的作用。为了普及新的技术,对工程技术人员以及科研人员进行继续教育及技术培训已成为一个重要的课题,编写普及自动化技术的高质量、高水平的技术书籍已成为一个紧迫的任务。为了适应这一客观需求,我们在清华大学科研与教学实践的基础上,组织编撰了一套反映当前最新技术水平的,对工程实践有较强指导意义的图书。主要读者对象为具有大专以上文化水平的工程技术人员。

该丛书选题范围包括传感技术与工业仪表,工业计算机控制,计算机集成制造系统(CIMS),人工智能和电子技术在自动化领域中的应用等方面,适于广大工程技术人员作继续教育与技术培训的教材,也可供相关专业的大学生与研究生参考。

编写与出版这套丛书是一次新的尝试,我们热忱欢迎选用本丛书的广大读者提出批评和建议。

《自动化技术丛书》编委会

1996年5月

《自动化技术丛书》编委会

主 编：李衍达

编 委：（按姓氏笔画为序）

王家桢 王桂增 杨家本

吴秋峰 张兆琪 张贤达

唐光荣 解学书 熊光楞

前 言

为保证现代大规模工业生产能够安全、优质、高效、节能地连续运行,必须对生产过程的一系列操作进行自动控制,对各种重要参数进行自动调节。这类自动化系统的运行大体上分三个步骤:(1) 靠传感器或变送器把生产过程的参数检测出来;(2) 按照检测到的参数,靠控制器或调节器根据事先设计的程序或选定的规律及时作出判断并发出操作指令;(3) 靠执行器把操作指令变为具体的操作行为,迫使生产过程按照调节器或操作者的意图进行。本书以步骤(2)和(3)两部分内容为主,它是自动控制或调节系统的核心,是自动化的关键硬件。

现代科学技术的发展是各学科互相综合,彼此渗透,因此,科技工作者需要扩展知识面,尤其是像自动化这样具有共性的知识,更是各行业工程技术人员都应该具备的。本书主要面向广大的非自动化专业科技人员,以介绍原理,描述结构和说明性能为主,不涉及深奥的理论;并且在写作中尽量选择常见的实例,运用通俗的文笔,力图做到浅显易读,使中等以上文化水平的读者也不难接受。面向非自动化专业人员,浅显易读是本书特点之一。

调节器和执行器是两个虽有关联却又相对独立的内容。其中调节器有开关式和连续式之分,有模拟式和数字式之分,有基地式和单元组合式之分,而且还有气动和电动等等的分别。执行器种类也很多,不胜枚举。一般书籍里往往只着重介绍其中一部分内容。例如,只写连续调节器而不写可编程控制器,只写电动执行器而不写气动调节阀,或者只写调节阀而不写电磁阀。但实际生产现场的自动化手段往往五花八门丰富多彩,先进技术和传统方法结合,复杂电路与简单机构并存,这样才能扬长避短,各得其所。即使国外最先进的生产线也并不全是清一色的计算机控制系统。何况实际应用中常常是连续量与开关量并存,电动调节器与气动调节阀合用。有鉴于此,本书力图兼收并蓄,不仅有新型带微处理器的可编程控制器和单回路调节器,也有简单实用的基地式和自力式调节器。不仅有整机,而且有常用于控制和调节的自动化元器件。当然,要尽量避免在一本书里充斥过多的内容,以节省篇幅。所以,有一些自成体系的先进调节系统或装置,例如集中分散型计算机控制系统和交流电机变频调速装置,没有纳入本书。总之,本书取材紧紧围绕着调节器和执行器这个主题,而且扩展了相关知识,所以广度比较大是本书特点之二。

本书共分 10 章。第 1 章为有关自动调节和控制的共同性知识及名词术语,包括经典的调节规律;第 2 章和第 4 章为控制用元器件,有传统的电磁继电器、接触器、电磁阀和无触点的电力电子器件如各种晶闸管、固态继电器等;第 3 章和第 5 章是以通断方式为主的自动控制仪表,包括近代普遍推广的可编程控制器和比较简单的开关式调节器;第 6 章、第 7 章和第 8 章是以连续动作为主的自动调节装置或仪表,有适合中小企业使用的基地式、自力式调节器,有灵活通用的单元组合式调节器,还有比较先进的单回路可编程调节器;第 9 章和第 10 章为调节阀及常用的气动、电动执行器。

本书在编写过程中得到了顾廉楚教授、翁樟教授、朱善君教授等同志的支持和帮助，在此深表谢意。

遵照本丛书出版的意图，虽然作者力图用通俗浅显的文字和简明清晰的插图向读者介绍确有实用价值的知识，然而受到水平的限制，未必能满足读者的要求，若发现书中有错误或不妥之处，恳切希望给予指出，以便改正。

作 者

1999 年 12 月于清华园

目 录

第 1 章 基本知识	1
1.1 常用名词术语	1
1.2 开关信号的来源和标准	8
1.3 连续信号的来源和标准	10
第 2 章 控制用的电磁元器件	12
2.1 继电器和接触器	12
2.1.1 基本结构和表示符号	12
2.1.2 主要特性和技术指标	15
2.1.3 附加电路	17
2.2 特种继电器	19
2.2.1 舌簧继电器	19
2.2.2 极化继电器	20
2.2.3 磁保持继电器	21
2.2.4 时间继电器	21
2.2.5 步进选线器	22
2.2.6 电磁计数器	22
2.3 电磁阀	23
2.3.1 直接控制式电磁阀	23
2.3.2 直接联系式电磁阀	23
2.3.3 管道联系式电磁阀	24
2.3.4 有自保持和关阀线圈的电磁阀	25
2.3.5 控制活塞动作的电磁阀	25
2.4 典型应用线路	27
2.4.1 典型报警线路	27
2.4.2 联锁和控制电路	30
第 3 章 可编程控制器	34
3.1 概述	34
3.2 PLC 的主要硬件	35
3.2.1 基本 I/O 卡	35
3.2.2 特殊 I/O 卡	38
3.3 存储区分配和指令系统	41

3.3.1	存储区分配	41
3.3.2	指令系统	42
3.4	编程器与编程法	46
第4章	电力电子器件	47
4.1	普通晶闸管	47
4.1.1	原理与特性	47
4.1.2	选择与测试	50
4.1.3	晶闸管的保护	53
4.2	双向及光控晶闸管	54
4.2.1	双向晶闸管	54
4.2.2	光控晶闸管	56
4.3	固态继电器	57
4.4	其他电力电子器件	58
4.5	交流调压器	61
4.5.1	移相调压器	61
4.5.2	过零调压器	62
第5章	开关式调节器	65
5.1	双位调节的动作规律	65
5.2	双位调节器	67
5.2.1	XCT 系列指示调节仪表	68
5.2.2	XFT 系列指示调节仪表	72
5.2.3	TA 系列调节器	74
5.3	时间比例调节器	75
第6章	基地式及自力式调节器	77
6.1	基地式调节器	77
6.2	自力式调节器	77
6.2.1	液位调节器	78
6.2.2	压力调节器	79
6.2.3	流量调节器	81
6.2.4	温度调节器	81
6.2.5	转速调节器	82
第7章	电动单元组合式调节器	84
7.1	动作规律的实现	84
7.1.1	无源 RC 负反馈电路	84

7.1.2	运放串联电路	87
7.2	DTL 基型调节器的电路	88
7.2.1	输入电路	88
7.2.2	比例微分电路	91
7.2.3	比例积分电路	93
7.2.4	输出电路	96
7.2.5	指示电路	96
7.2.6	手动电路	97
7.2.7	关于无扰动切换	99
7.3	特种调节器及若干附加线路	100
7.3.1	微分先行	100
7.3.2	软手动抗漂移	100
7.3.3	预设定硬手动	103
7.3.4	内外设定的切换	104
7.3.5	抗积分饱和	105
7.3.6	计算机监控(SCC)调节器	107
7.3.7	直接数字控制(DDC)调节器	110
7.3.8	停电对策	113
第 8 章	单回路可编程调节器	116
8.1	概述、算式及基本电路	116
8.1.1	单回路调节器的特点	116
8.1.2	PID 算式	118
8.1.3	单回路可编程调节器的基本电路	120
8.2	存储区分配	124
8.2.1	基本存储器	124
8.2.2	功能扩展存储器	126
8.3	指令介绍	128
8.3.1	基本调节模块	132
8.3.2	串级调节模块	134
8.3.3	选择调节模块	137
8.4	编程举例	139
8.5	面板及操作	143
8.5.1	正面板各部件及其操作	143
8.5.2	侧面板各部件及其操作	144
8.6	自诊断、报警和停电后的再启动	147
第 9 章	调节阀与气动执行器	149

9.1	调节阀的种类和阀门特性	149
9.1.1	调节阀的种类	149
9.1.2	阀门特性	152
9.2	执行器的种类和气动薄膜阀头	158
9.2.1	执行器的分类	158
9.2.2	气动薄膜阀头	159
9.3	气动阀门定位器	160
9.3.1	阀门定位器的工作原理	160
9.3.2	气动阀门定位器的主要部件	161
9.4	电/气阀门定位器	164
9.5	其他气动执行器	166
第 10 章	电动执行器	169
10.1	DKJ 及 DKZ 型电动执行器	169
10.1.1	伺服电动机	169
10.1.2	晶闸管的触发电路	171
10.1.3	前置磁放大器	172
10.1.4	附属部件	179
10.1.5	典型参数	180
10.2	其他电动执行器	181
10.2.1	积分式电动执行器	181
10.2.2	滚切电机式电动执行器	181
10.2.3	多转式电动执行器	184
10.2.4	永磁低速同步电机式执行器	184
10.2.5	数字式电动执行器	186
10.2.6	智能式电动执行器	186
	参考文献	187

第1章 基本知识

1.1 常用名词术语

1. 调节和控制

英语中的“control”一词既可以译为控制,也可以译为调节。同样,“controller”一词既可译为控制器也可译为调节器。然而一般人习惯在开环(无反馈的系统)中叫做控制和控制器,在闭环(有反馈的系统)中叫做调节和调节器。例如“遥控”、“程控”、“可编程控制器”等多半是工作在开环状态的,“温度调节”、“转速调节”、“比例积分调节器”等多半是工作在闭环状态的。但是也不尽然,比如“自控”一词就包含了各种形式的自动控制,没有人叫它“自调”。调节原理和控制理论也都是指同一学科,两者并无闭环开环之分。总之控制和调节两者含义很相近,都是指为达到预期目的作用在对象上或系统中的有计划的动作,所以在下文涉及相关名词时一律按照一般习惯用法,不再严格区分。

2. 被调对象和被调参数

工业生产用到的各种设备,多半有物质或能量进出。例如,储罐就是有物质进出的设备,电动机就是有能量进出的设备,热交换器就是既有物质流又有能量流进出的设备。为了保证这些设备工作在安全经济状态,必须对其中的某个参数进行调节。例如,储罐里的液位、电动机的转速、热交换器的出口温度等,这些参数就是“被调参数”,或称为“被调变量”。有关的设备就是“被调对象”。

3. 设定值

“设定值”也叫“给定值”,是为了达到安全高效生产的目标希望被调参数保持的数值。如果实际被调参数偏离了这个值就需要进行调节,而调节的最终结果应该将它调回到这个目标值上来。如果设定值是恒定不变的,希望自动调节系统把被调参数维持在恒定的数值上,这样的自动调节称为“定值调节”。如果设定值随时间连续变化,希望被调参数靠自动调节系统跟着设定值一起改变,就叫做“随动调节”。

4. 扰动

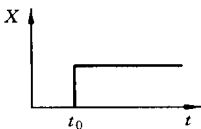
如果被调对象和外界没有物质或能量的进出,或者虽有进出却处于稳定的平衡状态,就没必要进行调节。例如,当储罐没有液体进出时,其液位永远不会改变;即使有进有出但是进出平衡时,液位也不会变。电动机的电源和负载都稳定时,其转速不会改变。热交换器的进口流量、温度、出口流量都不变时,出口温度也不会变化。但实际运行中的生产设备总免不了受到各种各样的干扰。例如,负载的变化、电源电压波动、原料质量或数量的变化,甚至环境条件的改变等,归根到底是物质流或能量流的波动,这些都会破坏被调参数的稳定,所有这一切对稳定不利的消极因素统称为“扰动”。

5. 阶跃扰动

为了分析对象在受到扰动后的各种反应,也就是为了研究对象的动态特性,人们往往

给研究对象施加一个突如其来的参数改变,在一瞬间把某个参数从一个值变成另一个值,这种人为的像阶梯一样的扰动就叫“阶跃扰动”。设用 X 表示扰动量,用 t 表示时间,阶跃扰动在图形上表示即如图 1.1 中从时刻 t_0 开始的阶梯状线。

图 1.1 阶跃扰动的图形



工程实际中并没有真正的阶跃扰动,这仅仅是为了研究对象或调节器的动态性能,人为施加的典型化的扰动。

6. 对象的时间常数

给对象施加阶跃扰动后,被调参数的改变往往不能立即完成,正如物体运动会受到惯性影响一样,也要经过一定时间才能稳定到新的数值,这种现象可以等效地看成像电容的充放电那样。事实上绝大多数对象的性质很接近于一个电容,外加电压突然改变后电容两端的电压只能按照指数曲线上升或下降,指数曲线的时间常数大小就代表了电容的容量大小。这样的对象叫做“单容对象”。所以改变参数时遇到的惯性大小也用“时间常数”来表示。

对于电容充放电来说,时间常数 T 的大小取决于电路的电阻 R 和电容 C ,这两个参数都是对象特征所决定的。同样,调节对象的时间常数也由对象特征所决定,不过没有像 R 和 C 那样形象具体而已。

指数曲线的时间常数是它从起点上升到终点高度的 0.632 所经历的时间,也可以用作图法得到,见图 1.2。图中横坐标为时间 t ,纵坐标为对象的某一参数 H 。自指数曲线的起点作切线,和曲线的水平渐近线相交,曲线起点与该交点之间的时间差就是时间常数 T 。

7. 对象的纯迟延

某些对象非但有时间常数,而且参数并不是从受到阶跃扰动的瞬间开始变化的,还要推迟一段时间,于是指数曲线沿时间坐标轴向右平移了一段,这段时间叫做“纯迟延”。具有纯迟延的单容对象,受到阶跃扰动之后的反应过程将如图 1.3 中的曲线所示。图 1.3 中的 T 代表对象的时间常数,从 t_0 到指数曲线起点的时间段 τ 就是纯迟延。

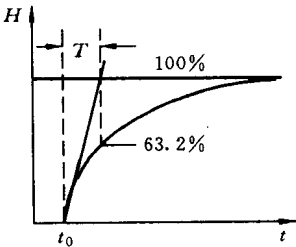


图 1.2 单容对象的时间常数

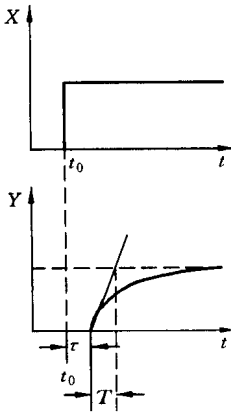


图 1.3 对象有纯迟延的情况

8. 偏差

出现扰动的结果是使被调参数偏离设定值,偏离的程度用“偏差”的大小来衡量,偏差的方向用偏差的符号来表示。例如,被调对象是加热炉,被调参数是温度,设定值是 500°C ,实际炉温是 470°C ,偏差就是 -30°C 。可见,偏差的定义是

$$\text{偏差} = \text{实际被调参数} - \text{设定值} \quad (1.1)$$

如果是人工调节的话,首先应该判断被调参数是否合适,才能决定要不要加以调节,往哪个方向调节,调多少。实际上就是根据偏差指导人的调节行为,从而及时有效地抑制扰动使被调参数恢复正常。自动调节也是如此,不过是用检测仪表代替人的观察,用自动调节器里的运算代替人的判断和决策,用执行器代替人手操作。总之,偏差是调节动作的依据。偏差的有无决定要不要调,偏差的正负决定向哪个方向调,偏差的大小决定调多少。绝大多数自动调节任务实质上就是要使偏差自动减小甚至消除。

经过自动调节,如果并没有把偏差完全消除,其剩余部分叫做“残余偏差”也叫“余差”、“静差”。

9. 输入变量和输出变量

这里的输入和输出是对调节器而言。输入变量就是代表实际被调参数的信号,一般先利用变送器把非电量转换为电量再送入调节器。例如,上述炉温 470°C ,经过温度变送器之后成为直流电流 I_i 送入调节器,这就是调节器的“输入变量”。在调节器内输入变量与设定值相减得到偏差,再经过某种运算后从调节器输出,去控制对象的温度,这就是“输出变量”。输出变量是调节器对设备施加影响以抑制扰动的操作信号,所以也叫“操作量”。有相当多的调节器用于调节管路里的流体,其输出变量决定阀门的开度,这时的输出变量也叫“阀位”。输出变量通常也是以直流电流信号的形式出现的。但也不尽然,对于气动调节器来说,输入输出都是以空气压力信号的形式出现的。

10. 开环和闭环

如果调节器或调节系统的框图是由代表传感、变送、运算、执行等若干环节彼此串联而成的,调节器的输出变量到达被调对象之后不再返回,就是开环调节。如果框图中有从调节器输出端反馈到输入端的环节,使框图形成闭合的环形,就是闭环调节。见图 1.4。

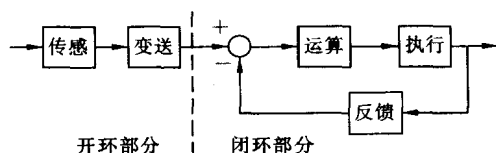


图 1.4 开环和闭环调节系统

此处“反馈”的含意与电子放大器里的反馈一样,但是在调节器或调节系统里只有负反馈,不采用正反馈。

11. 开关作用

比较简单的调节器输出变量只有两个状态,除了开就是关,没有中间态。例如冰箱里的温度调节器就是这样,当温度高于设定值时就开动制冷机降温,一旦温度低于设定值就关掉制冷机保温,总是这样一会儿开一会儿关,虽然温度经常处于波动之中,但波动幅度

不大,其平均值也能满足人们的需要。工业生产中这样的开关作用调节器也不少,由于开和关相当于两个极端位置,所以也叫“双位调节器”。与此类似的还有“三位调节器”,它是由两个双位作用重叠而成的。一般的开关作用都是指动作频率较低的而言,除了双位和三位这类称为“位式作用”的之外,还有靠脉冲宽度的改变或者占空比的改变起调节作用的,也称为“断续作用”。

12. 切换值

在位式作用中,任何使调节器的输出变量改变的输入变量值,都叫“切换值”。当输入变量增大时对应的切换值叫“上切换值”,输入变量减小时对应的切换值叫“下切换值”。上切换值与下切换值之差称为“切换差”。

在切换差范围内输入变量值不会引起调节器输出变量的响应,相当于调节器的死区。这个区愈小调节作用愈灵敏,但是切换差太小不容易稳定。上下切换值之间的中值称为“切换中值”,是位式调节器的工作点。

13. 连续作用

和开关作用明显不同,连续作用的调节器其输出变量可以从小到大连续改变。因为它的调节动作连续性好,没有波动,当然调节效果要比开关作用好,但是肯定要复杂一些。

14. 正作用和反作用

如果调节器的输出变量随输入变量的增大而增大,就叫做“正作用调节器”。反之,若是输出变量随输入变量的增大而减小,就是“反作用调节器”。这两种调节器的用法不一样。例如用于控制水位,倘若把调节阀装在储罐的进水口上,当水位过高时,调节器的输入变量增大,但是水位过高意味着进水多于出水,应该关小进水阀,所以希望调节器的输出变量随输入变量的增大而减小,这就是说应该用反作用调节器。倘若把调节阀装在储罐的出水口上,当水位过高时,就应该把调节阀开大,使它多出些水,那就应该采用输出变量随输入变量的增大而增大的正作用调节器。一般常用的调节器上备有可供选择正反作用的开关,只要把这个开关置于合适的位置即可。

在上述例子中,假定调节阀都是“正作用”的,即调节器给调节阀的信号增大其开度就随之加大。其实也有“反作用”的调节阀,信号愈大开度愈小,它的用法不难自行分析。

分析及选择正反作用时,只要牢记一条原则,即经过调节器对被调参数施加影响之后,一定要使偏差减小,决不能使偏差加大。

15. 比例(p)作用及比例带

根据常识及人工调节的经验可知,如果偏差很大,说明扰动剧烈,必须用大幅度的操作,否则不可能把扰动抑制下去,使被调参数恢复到设定值。如果偏差很小,就必须格外小心地仔细调节,以免操之过急矫枉过正,引起人为的扰动。也就是说,操作量的大小理所当然地应该和偏差成比例。自动调节器自然也应该这样。

假如从偏差为零的状态开始,调节器的输入变量大幅度地变动(这就意味着偏差有大幅度变动),这种情况下若需要调节器迅速作出有效的反应,就应该在输出端立刻有相应的大幅度变化,以便使被调参数快速恢复。反之,输入变化小输出变化也小。

对于连续作用的调节器,不论是正作用或是反作用,就绝对值而言,如果输出变量的变化与输入变量的变化成比例关系,这种调节动作就叫做“比例作用”。若用 ΔI 代表输

出变量的变化,用 ΔI_i 代表输入变量的变化,用 K_p 代表比例系数,则比例作用的规律可写为

$$\Delta I_o = K_p \Delta I_i \quad (1.2)$$

注意: 并不是输出与输入成比例,而是两者的变化量成比例。

由于“比例”一词的英文是 proportional,所以比例作用常写为“p 作用”。

式(1.2)里的比例系数 K_p 代表输出的变化量比输入的变化量大多少倍,这种关系与放大器相似,所以这个系数也叫“比例增益”。

具有比例作用的调节器受到阶跃扰动时,其输出信号会立即出现相应的阶跃变化,变化幅度与扰动幅度之间的比值,取决于比例增益。见图 1.5。

值得注意的是,比例作用的特点不仅仅是输出与扰动成正比,而且动作快,这种反应敏捷的特点能使调节有立竿见影的效果。

如果用横坐标 X 代表输入变量的变化占整个量程的百分数,用纵坐标 Y 代表输出变量的变化占整个量程的百分数,比例作用下两者的关系如图 1.6 所示。

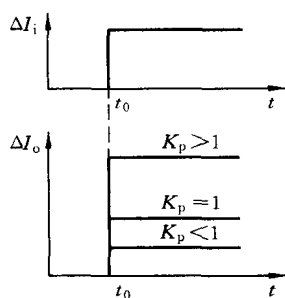


图 1.5 比例作用示意图

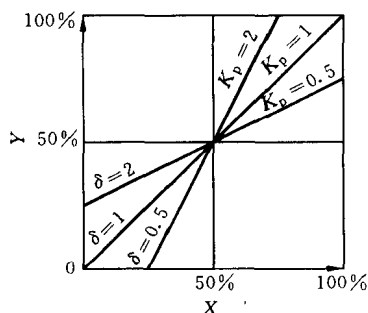


图 1.6 比例带示意图

图 1.6 中每条斜直线的斜率代表一定的比例系数 K_p ,比例系数越大斜线越陡。斜线在横坐标轴上的投影长度叫做“比例带”,它也就是在这幅坐标图上比例增益 K_p 的倒数。把它称为比例带,是因为在这个投影所覆盖的范围内是有比例作用的,如果偏差过大超出了这个范围,就不再有比例作用了。输出变量不是最大就是最小,像开关作用那样。

在很多书籍中比例带常写作 δ ,即

$$\delta = 1/K_p \quad (1.3)$$

16. 积分(I)作用和积分时间

人工调节还有一个理所当然的原则,就是偏差不除决不罢休,只要偏差仍然存在就持续不断地调下去,一直到把偏差完全消除为止。非但如此,而且偏差存在的时间长,说明扰动强,已经施加在对象上的调节动作还不足以抑制偏差,需要更大的操作量。所以人工调节时的操作量往往随偏差存在时间而逐渐加大,也就是说,操作量应该和偏差对时间的积分成正比。自动调节同样也应该体现这个规律,即“积分作用”。

因“积分”一词的英文是 integral,所以积分作用也有“I 作用”之称。

积分的快慢用“积分时间”来衡量,其定义是当比例积分调节器的输入变量为阶跃扰动时,自阶跃起始到输出变量达到施加阶跃时刻输出值的两倍时为止,这段时间的长短就

叫做“积分时间”，用 T_I 表示。见图 1.7。

纯粹只有积分作用的调节器并没有实用意义，它往往和比例作用结合构成“比例积分作用”（也叫“PI 作用”）的调节器。

积分作用的特点是偏差存在时间越长输出的操作量越大，所以调节器里采用了积分作用就不会有残余偏差了，只要有足够的时间，依靠不断地积分最终总会把偏差彻底干净地消灭掉，这是积分作用的最大好处。

17. 微分(D)作用和微分增益

人工调节能根据被调参数的变化趋势，预见到即将发生的后果，从而当机立断事先采取措施，防患于未然。比如在淋浴时若感到水温下降过快，一定会把热水阀门开得比一般情况更大些，以图把温度下降的势头尽快抑制住，这种根据被调参数变化速度采取的动作，就叫做“微分作用”。由于“微分”一词的英文是 derivative，故又称“D 作用”。

单纯微分调节也没有多大实用价值，常常和比例、积分结合，构成“比例积分微分作用”调节器，即“PID 作用”调节器。

在阶跃扰动下，比例微分调节的动作规律如图 1.8 所示。

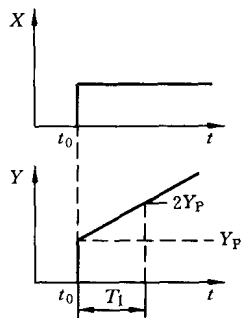


图 1.7 比例积分(PI)作用示意图

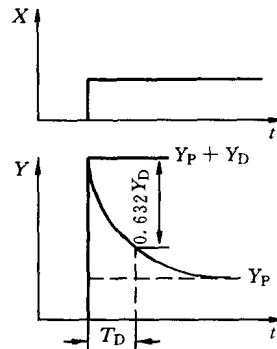


图 1.8 比例微分调节的动作规律

阶跃扰动之下，根据比例作用可得与扰动曲线相同的阶跃输出，如比例带 $\delta=1$ ，则阶跃输出的高度与阶跃扰动一样。根据微分作用应该在阶跃发生的瞬间产生一个高度为 ∞ 的突变，但实用的调节器并不按照数学上的理想微分工作，输出只有一个不很大的尖角，叠加在比例输出的阶跃前沿上，这就是微分作用的表现。从阶跃发生，到输出由尖角顶端下降量为尖角总高度的 $0.632Y_D$ 时为止，这段时间叫“微分时间”，用 T_D 表示。

采用微分作用的好处是使调节动作具有超前性，这充分体现于等速扰动下的反应。

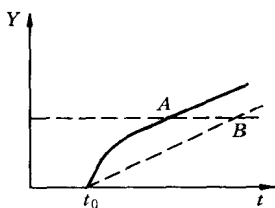


图 1.9 比例微分的超前效果

在图 1.9 中的扰动不是阶跃式，而是不断地以恒定速度增大的扰动。若用纯比例作用的调节器且比例带为 1 的话，调节器的输出一定也是同样斜率的直线，图中用虚线表示。但是用比例微分动作时，由于扰动是恒定速度不断增大，其微分就是一个常数，它叠加在虚线上方，使斜直线抬高了。如果在图上作一条水平线，则和斜实线的交点 A 在左，和斜虚线的交点 B 在右。也就是说，采用