

工业自动化仪表及其系统问答二百例

ZY

任秀珍 王永初 编著

原子能出版社

工业自动化仪表及其系统问答二百例

任秀珍　王永初　编著

原子能出版社

工业自动化仪表及其系统

问答二百例

任秀珍　王永初　编著

原子能出版社出版

（北京2108信箱）

八九九二〇部队印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

☆

开本787×1092 1/32·印张13·字数297千字

1985年3月第一版·1985年3月第一次印刷

印数1—　　统一书号：15175·534

定价：2.60元

内 容 提 要

本书介绍工业自动化仪表实际应用中常见的疑难问题223例。内容包括仪表信号传输线、检测仪表、变送与转换仪表、调节阀门、PID调节器、特殊调节器、工业控制机与模拟计算机以及系统组成等方面。这些问题大多数是在自动化工程实践中提出来的，有些问题是在仪表发展过程中出现的。全书围绕如何合理选择仪表、如何正确使用仪表、如何灵活组成仪表控制系统这三个核心内容进行介绍，因此本书不仅是一本自动化工程的实用参考书，而且可作为工业自动化仪表与仪表系统方面的自学参考书。

本书可供石油、化工、冶金、核能、电厂、轻工、船舶运输等行业从事自动控制与仪表应用的工程技术人员和有关大专院校的师生参考。

前　言

对控制理论的研究已经从经典控制理论、近代控制理论，发展到今天的大系统理论。控制工具也从基地式仪表、单元组合仪表、组装仪表，发展到微处理机与工业控制机。人们普遍关心与感兴趣的议题，不再是理论如何完善、控制工具如何先进，而是怎样提高现有仪表的投运率，巩固和提高现有的自动化水平。理论的应用总有一定的约束条件，而实践中出现的问题却是没有确定的约束条件的，可说是千奇百怪的。可以毫不夸张地说，实际问题比理论问题丰富千百倍。我国目前企业的情况是以中、小企业为主。这些工厂大多自动化水平不高，即使是大企业，仪表投运率低于40%的工厂也不乏其例。是什么问题阻碍了生产自动化水平的进一步提高呢？许多调查结果表明，基础自动化跟不上是主要的问题，其中有些问题是新技术出现以后产生的，而另一些问题是使用者与设计者对仪表性质不熟悉造成的。近几年来，我们结合工厂自动化技术应用的实践，发表过若干论文与仪表应用问题述评，颇受现场技术人员的欢迎，在同志们的鼓励下，我们将多年收集到的资料加以整理总结，结合我们自己的实践经验，汇总成本书。

本书总结的问题是工程实践中提出的一些基础自动化方面的问题，包括基本概念、信号传输、检测与变送器仪表、调节器、特殊调节器、模拟计算机及工业控制机、调节阀、系统组成等方面应用与选型的内容。正象有了坚固的基础才

能建造万丈高楼一样，有了坚实的基础自动化，才会有以后的高级自动化。今天我们奉献给现场从事自动化与工业自动化仪表应用的同行们的这本问答二百例，如果能起到社会主义大厦一块小石子的作用，也算是我们为四个现代化尽了一分微薄力量。本书取材大多来源于实践，因此不仅对从事生产过程自动化实际工作的技术人员、大专院校师生会有一定参考意义，而且对系统理论研究的同志也可能会有所裨益。由于我们知识与经验不足，书中难免会有缺点与错误，恳切欢迎读者批评指正。

编著者

1982年12月

目　　录

一、基本概念…… 1
二、仪表信号与信号连接线的选择以及防止噪声干扰的问题…… 22
三、检测元件及传感器应用中的有关问题…… 64
四、变送器和转换器的选择及使用问题……107
五、调节阀与执行机构应用中的有关问题……154
六、调节器的选择及使用问题……192
七、特殊调节器结构与应用中的有关问题……250
八、系统设计中的有关问题……287
九、模拟计算机与工业控制机在工业控制中的应用问题……328
十、工业自动化仪表组成系统的有关问题……369
参考文献……408

一、基本概念

1. 一个工业自动化仪表调节系统包括哪些仪表？

一个工业自动化仪表调节系统通常具有三种类型的仪表：

（1）检测/变送器类仪表：取出被观察的信息，并把它变成统一的仪表信号。这部分相当于人的耳目。

（2）调节及计算类仪表：这是一个自动化系统的核心。这部分相当于人脑的作用，它对系统各部分来的信息加以分析、计算、判断，再发出控制指令，使系统的状态依照所希望的规律运动。

（3）执行器/调节阀类仪表：执行对被调介质操作的命令，改变进入工艺过程的介质流量。这部分相当于人的手脚的作用。

在数字控制系统中，工业计算机起着代替调节器与计算单元的作用，而检测/变送器与执行器/调节阀部分是不可代替的。上述三部分仪表是组成一个仪表自动化系统所必须的最基本部分，有了这三部分的仪表，自动化系统就能正常工作。但作为一个完整的仪表体系，只有这三个基本部分仍是不够的，还应该具有自动记录、自动报警等功能，以及把若干自动化系统有机地联系起来的仪表。为此，单元组合仪表还有诸如显示与记录类仪表、转换类仪表、操作类仪表、报

警类仪表以及辅助类仪表等。图 1-1 表示一个工业自动化仪表系统可能应用的单元。

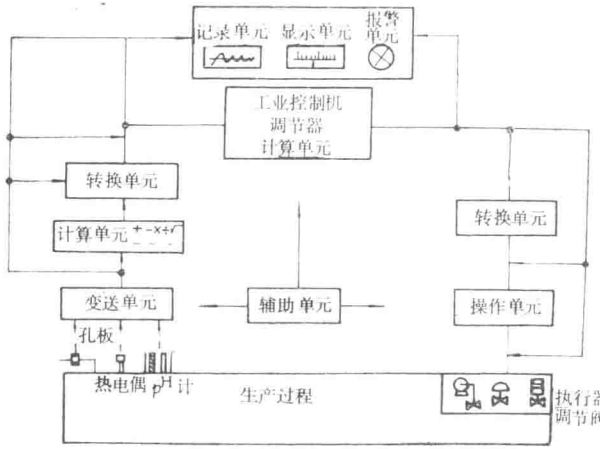


图 1-1　仪表调节系统的组成

2．什么叫负反馈？为什么说测量信号与给定信号按极性相反的方向接入调节器不一定是负反馈？

负反馈调节系统是指给定值信号与测量值信号的作用结果能够互相削弱的系统，这种系统的反馈信号称为负反馈信号。

除了电动单元组合Ⅰ型仪表外(已逐渐被淘汰)，大多数工业自动化仪表的工作信号都是正的信号。例如气动单元组合仪表的工作信号为 0.2～1 kg/cm²，电动单元组合仪表Ⅱ型的工作信号为4～20mA。在正常状态下，测量值信号$X(t)$或给定值信号 $R(t)$ 都是运行在仪表信号范围的中值点上。

为保证这两个信号在调节器的比较部分中相加不超过仪表信号的范围，两个信号引入调节器的极性必须相反，调节系统才能正常工作。表1-1与表1-2表示气动与电动单元组合仪表给定信号与测量信号的两种接法。

给定信号与测量信号极性相反只是系统负反馈的一个必要条件，但还不充分。不少人认为只要给定信号与测量信号接入调节器的极性相反就是负反馈，这种认识是不正确的，

表1-1 气动仪表连接法

连接方式	调节器的输入端	
	正室	负室
常规	给定	测量
非常规	测量	给定

表1-2 电动仪表连接法

连接方式	调节器的输入通道	
	给定通道	测量通道
常规	给定信号⊕→⊖	测量信号(−)→(+)
非常规	给定信号⊖→⊕	测量信号(+)→(−)

注：⊕→⊖表示电流从输入正端子流向负端子。

现以图1-2a所示调节系统方框图为例说明之。若调节器采用气动调节器，$R(t)$ 接到调节器的正室，$X(t)$ 接到负室。假如包括测量/变送器、调节器、执行器/调节阀及控制对象在内的系统开环特性为

$$\begin{aligned} X &= X_0 - K(R-X) \\ &= X_0 - Ke \end{aligned} \tag{1-1}$$

（式中 $e=R-X$ 称为调节误差），且知稳定时的条件为

$$R=R_0=X_0$$

$$e_0=0$$

当对 $R(t)$ 施加一个微小的阶跃扰动，即

$$R=R_0+\Delta \qquad (1\text{-}2)$$

那么系统调节的结果不是减少调节误差，而是扩大调节误差。这个结论的分析是不困难的，因为 R 增大，导致 e 的增大，e 的增大又导致 X 的减小，X 减小以后，又进一步扩大了误差 e，因此调节的结果是 X 越来越小，测量值与给定值的差别越来越大，这样的系统是不可能稳定的。这就说明，给定值信号与测量值信号接反不一定是负反馈。对于式（1-1）所描

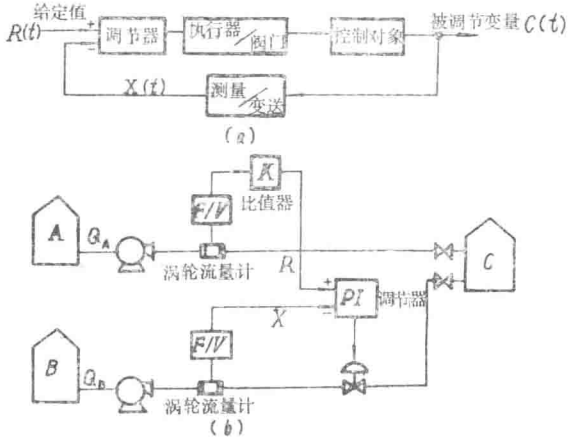


图1-2 负反馈说明示例

(a) 简单调节系统组成方框图

(b) 油品调和系统

述的对象，如果给定值信号 $R(t)$ 接负室，测量值信号接正室，此时式 (1-1) 可以重新写成

$$X = X_0 - K(X - R)$$
$$= X_0 - Ke \qquad (1\text{-}3)$$

其中 $e = X - R$。当 $R(t)$ 按式 (1—2) 变化时，e 为一个负值信号，而且 X 值增大。X 值增大以后，使 e 向正的方向变化，补偿了 $R(t)$ 变化的影响，调节系统最后能够稳定下来。后面这种系统才是负反馈调节系统。一个不稳定的调节系统，有时将给定端与测量端位置对换，系统能够稳定下来就是这个道理。

为说明负反馈概念的应用，兹举图 1-2 (b) 所示的油品调和系统的例子。油品调和是将两种成分不同的油 A 和 B，调配成一定比例的混合油 C。两种油的流量均用涡轮流量计测量，并经 F/V 转换器变成1～5 V的直流电压信号，再接至调节器或比值器。由于调节器与比值器的输入阻抗为250Ω，1～5V 的直流电压信号就变成可供调节器或比值器运算的统一仪表信号。成分 B 的油流量随成分 A 的油流量而变化，因此是一个随动系统。流量 Q_A 乘上一个系数 K 作为常规接法中调节器的给定信号 R，流量 Q_B 作为测量信号 X。当 Q_A 增加时，调节器的输出增加，调节阀门的开度增大，Q_B 也随着增加。Q_B 增加的效果是减少 Q_A 增加所产生的影响，所以图1-2(b)所示的系统是一个负反馈系统。

3. 方框图的含义是什么？方框图有哪些基本运算？

图1-3(a)所表示的图就是一个方框图。最简单的方框图包括一个方框和两个带箭头的输入与输出线。箭头指向方框的为输入线，背向方框的为输出线。方框中填入一个函数

$G(s)$表示输出$I_{出}(s)$与输入$I_{入}(s)$的关系

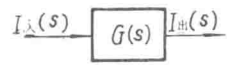
$$\frac{I_{出}(s)}{I_{入}(s)}=G(s) \tag{1-4a}$$

或者

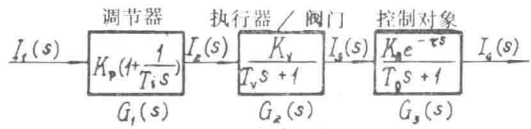
$$I_{出}(s)=G(s)I_{入}(s) \tag{1-4b}$$

我们称$G(s)$为由$I_{入}(s)$至$I_{出}(s)$的传递函数。理想的方框应对输入信号$I_{入}(s)$有无限大的输入阻抗，对输出信号$I_{出}$有零的输出阻抗，而且是不可逆的单向作用。自动化系统中有两种常见的方框图运算：

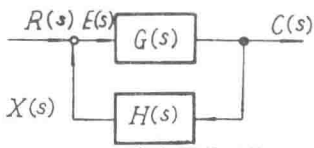
（1）串接运算：串接运算如图1-3(b)所示。几个环节串接的传递函数等于这几个环节传递函数的乘积。



(a) 简单环节



(b) 串接环节



(c) 反馈系统

图1-3 方框图的基本形式

(a) 简单环节 (b) 串接环节 (c) 反馈系统

$$\frac{I_{出}(s)}{I_1(s)}=\frac{I_2(s)}{I_1(s)}\frac{I_3(s)}{I_2(s)}\frac{I_4(s)}{I_3(s)}$$

$$=G_1(s)G_2(s)G_3(s)$$

$$=K_P\left(1+\frac{1}{T_i s}\right)\frac{K_V}{T_V s+1}\quad\frac{K_0 e^{-\tau s}}{T_0 s+1}$$

$$=G(s) \tag{1-5}$$

（2）反馈运算：反馈运算如图1-3(c)所示。由图求出如下关系：

$$C(s)=G(s)E(s)$$
$$X(s)=H(s)C(s)$$
$$E(s)=R(s)-X(s)$$

上述三式联立可以求得

$$\frac{C(s)}{R(s)}=\frac{G(s)}{1+G(s)H(s)} \tag{1-6}$$

式（1-6）称为反馈系统方框图的基本运算。这里需要指出，不是所有的仪表或对象都可以写成传递函数填入方框图中，只有线性元件或具有线性特性的对象才能写成传递函数。工业控制对象与仪表的特性大部分都可以写成传递函数，但是，也有一类非线性对象或仪表是不能写成传递函数的。这

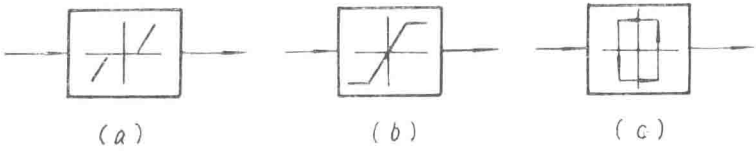


图1-4　非线性元件的方框图

(a) 具有不灵敏限的特性　(b) 输出限幅　(c) 具有滞环的特性

类对象在方框中只能用作用曲线表示，图 1-4 为系统设计中常见的三种非线性元件的方框图。

4．在分析或设计系统时，常常遇到一些符号“s”或“z”，它们的物理意义和数学意义是什么？

在系统的设计或分析时，常常遇到微分$\frac{dX(t)}{dt}$或积分$\int_0^t X(\tau)d\tau$之类的运算，不仅分析不方便，而且书写也不方便，所以把它写成算符形式，即$\frac{dX(t)}{dt}$记成$sX(s)$，$\int_0^t X(\tau)d\tau$记成$\frac{1}{s}X(s)$，这样就将以时间t为变量的函数，变换成算符s为变量的函数，使得微分与积分的运算可以用代数运算来代替。函数$X(t)$转变成$X(s)$的变换，称为拉普拉斯变换，即

$$X(s)=\int_0^{-\infty} X(t)e^{-st}dt \tag{1-7}$$

记

$$\begin{aligned}&\frac{dX(t)}{dt}\longleftrightarrow sX(s)\\&\int X(t)\longleftrightarrow\frac{1}{s}X(s)\end{aligned} \tag{1-8}$$

表示$X(t)$的微分或积分与其拉普拉斯变换的对应关系。但是，这有一个前提，即其初始条件必须为零，否则分析或设计系统会导致错误的结果。但由于调节系统都是以增量形式进行运算的，在正常状态下，测量值等于给定值，所以一般地说初始条件是为零的，因此，算符可以理解为拉普拉斯变换的算子。

拉普拉斯变换是连续仪表调节系统常用的方法，但这种方法用于数字控制系统还是不方便的，因为数字系统是一种离散系统，最方便的方法是 z 变换。z 变换的 z 同拉普拉斯变换的 s 有如下关系：

$$z=e^{Ts} \tag{1-9a}$$

或

$$z^{-1}=e^{-Ts} \tag{1-9b}$$

其中，T 为采样周期。

如果一个函数 $X(s)$ 冠以 s 符号是表示 $X(t)$ 对 t 的微分，那么一个函数 $X(z)$ 冠以 z 就是表示将 $X(t)$ 的信息提前一拍的意思。如果一个函数 $X(s)$ 冠以 s^{-1} 表示函数 $X(t)$ 对 t 的积分，那么一个函数 $X(z)$ 冠以 z^{-1} 的符号就是表示将 $X(t)$ 的信息延迟一拍的意思。

任意一个环节的传递函数 $G(s)$，若用 $j\omega$（角频率）代替 s，就变成另一个新的函数，这个函数就是该环节的频率特性。例如

$$G(s)=\frac{K}{Ts+1}$$

其频率特性为

$$G(\omega)=\frac{K}{j\omega T+1} \tag{1-10}$$

式中，ω 为角频率。ω 在应用中容易同圆频率 f 混淆，f 是表示信号周期 T_s 的倒数，即

$$f=\frac{1}{T_s} \tag{1-11}$$

我们通常所说的频率为每秒多少次，所指的频率就是 f，而 f

与ω的关系为

$$\omega=2\pi f=\frac{2\pi}{T_s} \tag{1-12}$$

频率特性是表征自动化仪表与自动化系统性质的一种重要方法。假如不用拉普拉斯变换而直接用时间的原函数，求频率特性是相当麻烦的。正因为这个原因，拉普拉斯变换与z变换成为仪表自动化系统的一种重要的数学工具。表1-3表示在初始状态为零的条件下，几种时间函数的拉普拉斯变换与z变换。

表1-3　基本函数的拉普拉斯变换与z变换表

时间函数	拉普拉斯变换	z变换
A	$\frac{A}{s}$	$\frac{Kz}{z-1}$
At	$A\frac{1}{s^2}$	$\frac{KTz}{(z-1)^2}$
$\frac{dX(t)}{dt}$	$SX(s)$	$\frac{z-1}{T}X(z)$
$\int X(t)dt$	$\frac{X(s)}{s}$	$\frac{T}{1-z^{-1}}X(z)$

5. 什么是静态增益和动态增益？

一个调节系统包含四个基本部分，每个部分的静态增益和动态增益都影响到整个系统的工作。在问题4中我们已经说明，把$s=j\omega$代入传递函数，就得到该部分的频率特性。如由式（1-10）可得

$$G(\omega)=\frac{K}{j\omega T+1}$$