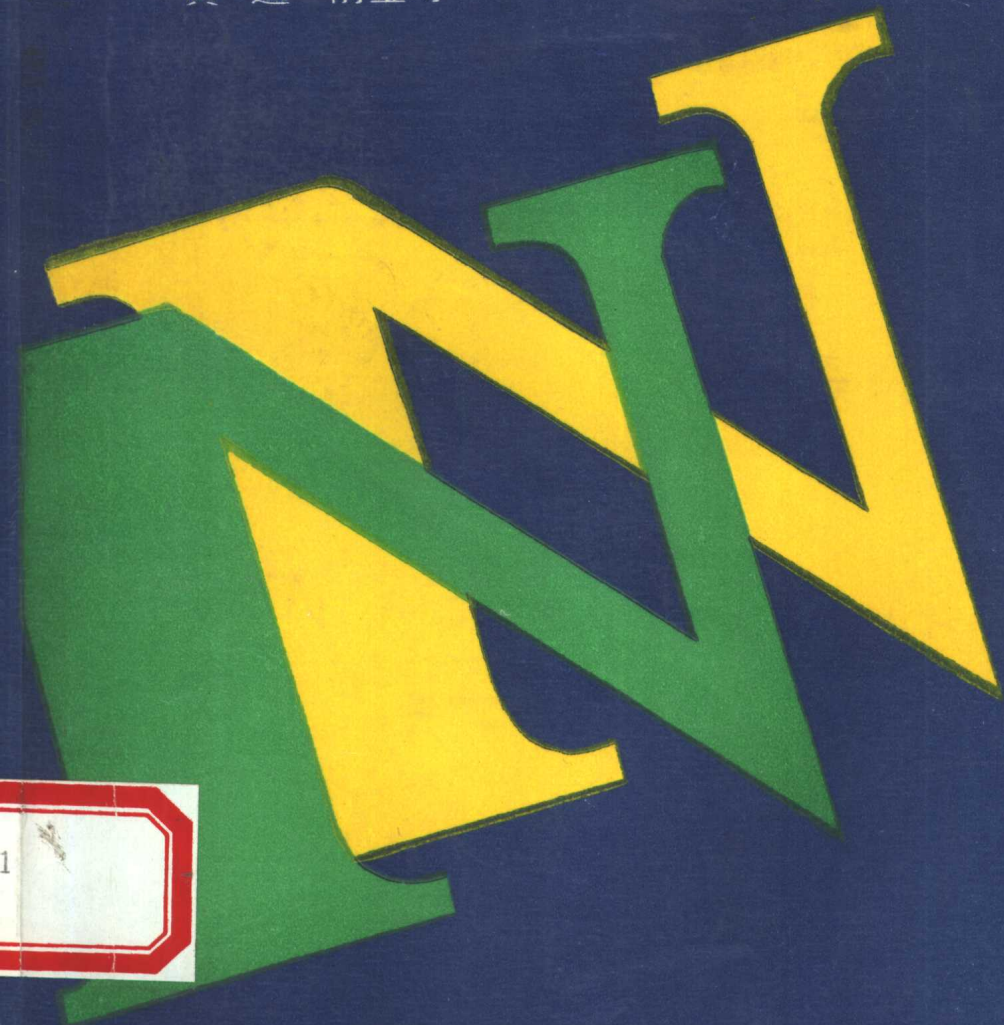


氮肥生产自动化

黄道 俞金寿



化学工业出版社

氮肥生产自动化

黄 道 俞金寿

江苏工业学院图书馆
藏书章

化学工业出版社

(京) 新登字039号

内 容 提 要

本书主要介绍了氮肥生产过程自动化,在介绍大中型氮肥厂基本控制方案基础上,又讨论了氨厂计算机控制方法。全书共分六章。第一章简单介绍了氮肥厂生产自动化中应用新型控制系统及计算机控制系统的概况,作为全书引论。第二、三章分别介绍了中型氨厂和大型氨厂各个工段的控制方案。第四章在叙述了数学模型建立,最优化及大系统优化方法基础上,介绍了一个氨厂计算机优化控制实例。第五、六章简单介绍了硝酸和尿素生产自动化情况。

本书适用于从事氮肥生产过程控制的技术人员和有关自动控制专业大专院校师生阅读。

本书由华东化工学院黄道副教授、俞金寿教授编写,由蒋慰孙教授审阅。

氮肥生产自动化

黄 道 俞金寿

责任编辑:刘 哲

封面设计:叶明霞

化学工业出版社 出版发行

(北京朝阳区惠新里3号)

东华印刷厂印刷

三河通达厂装订

新华书店北京发行所经销

开本787×1092 1/32 印张 9 5/8 字数222 千字

1992年12月第1版 1992年12月北京第1次印刷

印 数 1—1300

ISBN 7-5025-1078-8/TP·34

定 价7.20元

目 录

第一章 引 论	1
第一节 概 述.....	1
第二节 氮肥生产自动化中的新型控制系统.....	3
第三节 计算机控制系统的应用.....	22
第二章 中型氨厂的自动控制	45
第一节 造气过程的控制.....	46
第二节 脱硫与变换过程的控制.....	72
第三节 净化过程的控制.....	87
第四节 合成过程的控制.....	94
第三章 大型氨厂的自动控制	121
第一节 合成氨生产流程.....	121
第二节 转化系统的控制.....	124
第三节 压缩机的控制.....	140
第四节 合成系统的控制.....	149
第五节 蒸汽系统的控制.....	166
第六节 仪表及联锁.....	180
第四章 氨厂的优化控制	187
第一节 概 述.....	188
第二节 静态数学模型的建立.....	191
第三节 过程最优化方法.....	216
第四节 大系统优化方法.....	234
第五节 氨厂优化控制实例.....	258
第五章 硝酸生产的控制	270
第一节 工艺概述.....	270

第二节	工艺控制要点·····	273
第三节	主要控制系统·····	277
第四节	硝铵生产的控制·····	279
第六章	尿素生产的控制 ·····	284
第一节	工艺流程及控制要点·····	284
第二节	尿素生产的控制·····	292
第三节	尿素仪表的防腐·····	302

第一章 引 论

第一节 概 述

氮肥生产是现代化学工业中的一个重要部门，而氮肥生产的主要原料是合成氨。除了制成化肥用于农业外，合成氨生产在工业、国防和改善人民衣食住行各个方面均占有重要地位。解放以来，我国氮肥工业特别是合成氨工业发展十分迅速，目前国内各种不同规模的氨厂的总产量仅次于苏联和美国，居世界第三位。

以氨厂的生产能力划分，大致可分如下三类：

1. 大型氨厂 在我国通常指单套装置年产30万吨合成氨，可生产48万吨尿素。这类大型氮肥厂目前全国有近20个，所生产氮肥占全国产量 $\frac{1}{4}$ 。这些氮肥厂是七十年代从美国、日本、法国引进的，亦有国产的。其工艺特点是生产能力大，单机组，使用操作费用低的离心式压缩机，热能综合利用率高，所以能耗水平低（约 $41.6 \times 10^6 \text{ kJ/t-NH}_3$ ）。

2. 中型氨厂 指单套生产装置年产合成氨2.5万吨至8万吨级的合成氨厂。全国有50多家，大多数是五十年代建的，工艺设备较落后，能耗水平较高（ $68.3 \times 10^6 \text{ kJ/t-NH}_3$ ）。

3. 小型氨厂 指单套生产装置年产合成氨3千吨至1万吨级的合成氨厂。全国有1000多家小型氮肥厂，其产量为我国氮肥产量的50%以上。这些氨厂从六十年代开始陆续建立起来，工艺设备比较落后，操作水平低，能耗也较高（ 69.8×10^6

kJ/t-NH_3)。

针对大型氮肥厂工艺特点及工艺本身对控制的要求，一般设有中央控制室，把重要工艺参数都集中在控制室的仪表屏上显示，操作人员借此对工艺过程进行监视、操作和控制。为了安全生产和保护设备，设置了必要的联锁保护系统，采用的仪表为电动Ⅲ型仪表。随着计算机技术的发展，从80年代开始引进单回路控制器、集散型控制系统以及计算机控制。采用的控制方案是常规PID控制和某些先进控制系统，如前馈控制、选择性控制、时滞补偿控制、防喘振控制、优化控制等。在此基础上，为了进一步提高控制水平，降低能耗，提高产量，着手建立数学模型，实现分级优化控制，朝着国际先进水平前进。

中型化肥厂目前控制水平总的来说还比较低，还未做到全部集中控制，而是各个工段设立控制室，进行局部控制，采用的仪表有气动的，亦有电动的，控制方案一般为单回路控制系统，亦有少量串级、比值控制系统等。但部分中型化肥厂近年来在不断前进，开始采用可编程调节器、集散系统和计算机等先进自动化技术工具，控制系统中应用一些新型控制系统以及优化控制方案，从而降低了能耗，提高了产量，获得了明显的经济效益。

小型氮肥厂的控制水平更低，不少厂仅有一些指示仪表和个别控制回路，当然随着计算机技术发展，全国亦有大约5%厂家开始采用微机控制，提高了操作水平，降低了能耗。

根据我国氮肥生产自动化的现状与国情，控制水平较低的中、小型氮肥厂，为提高操作水平，稳定生产，降低能耗，首先应对主要工艺参数进行控制，并逐步实现集中控制。在有条件的工厂，应对重要工艺参数例如氢氮比等，采用一些新型控制方案及优化控制。这些系统可以用可编程调节器、单片机、PC

机来实现。而对自动化水平较高的大型氨厂，首先应该采用新型控制系统，重点是一段转化炉出口温度控制、水碳比控制、合成氨回路氢氮比、合成回路压力与惰性气体含量的选择性控制等四套节能控制系统。可以采用单回路调节仪表，但采用集散系统进行改造更好。后者可在四套节能控制的基础上，建立数学模型，实现分级优化控制，这是今后的一个发展方向。

本书主要介绍大、中型氮肥厂生产过程自动化（已出版有小氮肥生产自动化一书）；第二、三章中介绍中型与大型氨厂的自动控制；根据今后的发展，第四章中叙述氨厂优化控制；最后简单介绍尿素生产和硝酸生产过程自动化。

为了使读者对新型控制系统和计算机控制有所了解。本章中将对主要新型控制系统作简单介绍，然后叙述有关计算机控制概况。

第二节 氮肥生产自动化中的新型控制系统

目前在氮肥生产过程自动化领域中广泛采用的是简单控制系统，亦应用一些串级控制、比值控制、三冲量控制等复杂控制系统。随着生产自动化的不断发展，对控制质量要求越来越高，相应的新型控制系统不断出现，例如前馈控制、选择性控制、时滞补偿控制、解耦控制、按计算指标的控制等。

一、前馈控制系统

1. 前馈控制的概念

反馈控制系统的特点是对象受到扰动作用（外作用）后，必须在被控变量出现偏差时，调节器才动作，以补偿扰动对被控变量的影响，这是一种按偏差进行调节的闭环控制系统。如果输入作用能平稳下来，系统最终使偏差消除或基本消除。尽管这种反馈控制系统有较普遍的适应性，但是只有在偏差形成

以后，控制作用才发生变化，这样的控制不够及时，特别是扰动较大，滞后较大（即 τ/T 较大）的过程，被控变量的波动幅度较大，偏差持续时间也较长。这种反馈控制系统的控制质量较差，满足不了生产的要求。

所谓前馈控制，实质上是一种按扰动进行控制的开环控制方式，它通过前馈补偿装置补偿扰动对被控变量的影响，从而达到控制的目的。前馈补偿的原理方框图如图1—1所示。

设扰动通道的传递函数是 $G_f(s)$ ，调节通道的传递函数为 $G_0(s)$ ，如能把扰动测量出来，并通过补偿装置 $G_d(s)$ 的控制作用，此时有：

$$Y(s) = [G_f(s) + G_d(s)G_0(s)] F(s)$$

如满足下述条件，即达到了完全补偿：

$$G_f(s) + G_d(s)G_0(s) = 0$$

$$\text{即} \quad G_d(s) = -\frac{G_f(s)}{G_0(s)} \quad (1-1)$$

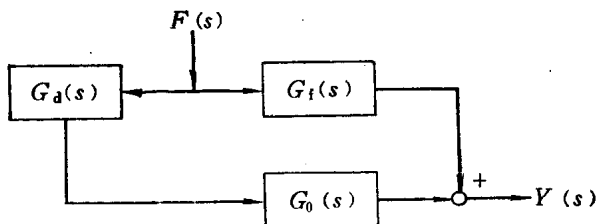


图 1—1 前馈控制的原理方框图

则输出值（被控变量）在扰动作用下保持不变。

由此可见，如果补偿得当，对于某一扰动，前馈控制系统的控制品质是十分满意的。

前馈控制有如下特点：

①按扰动进行控制 它把扰动测量出来，引入到前馈补偿装置中去，从而克服扰动对被控变量的影响，所以控制及时，且控制十分有效。

②前馈控制是“开环”控制 因为前馈控制是根据测量扰动产生控制作用，从而去影响被控变量，而被控变量没有作为反馈信号，因此是开环的。如果 $G_d(s)$ 严格满足(1—1)关系式时，当然能够完全补偿扰动作用的影响。但是对象传递函数稍有偏差或 $G_d(s)$ 达不到式(1—1)要求时，就不能完全补偿扰动的影响，被控变量无法回到原来的值。

③前馈控制只补偿被测的那个扰动的影响，所以有几个扰动存在时，同时要测出几个扰动才行。

由于前馈控制是开环的，且只补偿被测的扰动，所以前馈控制常常和反馈控制结合起来使用，称之为前馈-反馈控制系统，这样前馈用来克服主要扰动，其它扰动以及前馈补偿不足的由反馈控制来克服。

前馈控制系统的结构型式主要有：

①静态前馈控制， $G_d(s)$ 没有动态环节。在扰动作用下前馈补偿只能最终使被控变量达到要求的设定值，而不考虑补偿过程中的动态偏差。静态前馈的规律往往可以通过系统的物料和能量平衡关系来求得。静态前馈控制系统实施起来比较方便，而且能满足相当数量工业过程的要求，因此在工程上获得了十分广泛的应用。

②动态前馈控制， $G_d(s)$ 具有动态环节，它不但在静态时补偿，而且在动态上亦考虑进行补偿。可以认为，静态前馈是动态前馈的一个特例。动态前馈装置的控制规律由式(1—1)决定。如果对象特性是具有时滞的一阶过程，即调节通道和扰动通道的传递函数为：

$$G_0(s) = \frac{K_0 e^{-\tau_0 s}}{T_0 s + 1}$$

$$G_f(s) = \frac{K_f e^{-\tau_f s}}{T_f s + 1}$$

则由式 (1-1) 可知前馈补偿装置的传递函数为:

$$\begin{aligned} G_d(s) &= -G_f(s)/G_0(s) = -\frac{K_f}{K_0} \cdot \frac{T_0 s + 1}{T_f s + 1} \cdot e^{-(\tau_f - \tau_0)s} \\ &= K_d \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1} \cdot e^{-\tau_d s} \end{aligned} \quad (1-2)$$

如果两条通道的时间常数和时滞比较接近, 即可以不考虑动态的影响, 只要进行静态前馈补偿就可以了。

实际化工过程中控制对象往往是非线性、时变、高阶的, 所以得到的前馈控制规律相当复杂。为便于工程应用和实施, 一般常用式 (1-2) 作为前馈补偿装置。这种函数装置实施可采用电动Ⅲ型仪表或可编程调节器, 用计算机来实施更为方便。

2. 前馈控制系统的设计

①采用前馈控制的条件 前馈控制是按扰动而控制的。要使这种控制方式得以实现并发挥威力的条件是: (1) 扰动必须可测而不可控。不可测, 就无法实施。这里的可测是指可以直接测量, 然而也不排斥可以间接估计的情况。可控, 则可排除扰动, 亦无采用前馈控制的必要。(2) 扰动必须比较显著和频繁, 否则无此必要。

②前馈补偿装置的控制规律的选择 前馈控制规律的选择主要通过对对象的控制通道和扰动通道的分析来合理选用。当 $T_0 \ll T_f$ 时, 由于调节通道很灵敏, 克服扰动能力强, 此时采用反馈控制可以达到满意的品质要求, 不必采用前馈控制; 当

$T_0 \doteq T_f$ (其比值在1.3~0.7间)时,选用静态前馈-反馈控制对调节品质可得到较大改善,不必采用动态前馈方式;当 $T_0 > T_f$ 时可采用动态前馈-反馈规律来改善调节品质。关于对时滞的补偿问题,当 $\tau_f > \tau_0$ 时,前馈控制规律中引入时滞项即可,若 $\tau_f < \tau_0$,则无法实现。

③前馈补偿装置的选择 前馈补偿装置一般有三类可供选择。

(a) 采用专用的前馈调节器。它由三部分组成,如图1—2所示。一是产生前馈控制作用 u_d 的超前滞后环节 $K_d \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}$, K_d 可以是正值,也可以是负值,按具体工况进行选择。 K_d 、 T_1 、 T_2 的值可以调整。二是产生偏置信号 u_b 的信号发生器,扰动偏置是为了克服前馈补偿器在控制系统处于稳态时与此稳态值相对应的信号输出,因为如将这时的稳态信号直接送入加法器中,将导致加法器的输出发生饱和,对控制不利。三是把 u_d 、 u_b 和反馈控制作用 u_c 相加(代数相加)的加法器,亦出现了把反馈调节器也结合在一起的复合调节器。

(b) 采用软件实现前馈的控制算法。采用计算机控制时,与其它控制算法一样,是用软件来实现的。

(c) 采用运算单元构成的前馈补偿装置。与(a)一样和由三部分组成,但由用户自行构成。

④前馈控制系统的工程整定 在前馈控制系统的运行过程中,前馈补偿装置参数整定是相当重要的。它是获取满意调节过程的手段之一。常用前馈补偿装置如式(1—2),主要整定 K_d 、 T_1 、 T_2 。 K_d 是前馈补偿装置中最基本的参数,它的整定对前馈控制系统的运行具有十分重要的意义。其整定方法有:若知道调节通道和扰动通道放大倍数,则通过计算可以获

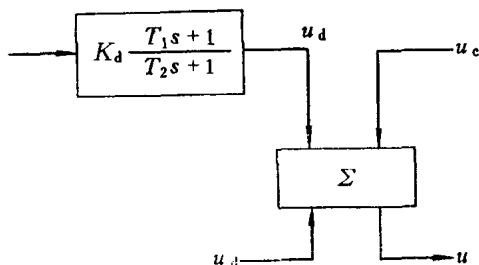


图 1—2 前馈调节器的构成

得 K_d ，然后加以适当调整，即可获得满意的结果；若采用前馈-反馈控制，在反馈控制时，可进行测试或从已有操作数据分析，总可以找到扰动量为 f_1 时应采用的控制作用 u_1 ，扰动量为 f_2 时应采用的控制作用 u_2 ，如过程为线性，则 $K_d = \frac{\Delta u}{\Delta f}$

$= \frac{u_2 - u_1}{f_2 - f_1}$ ，亦可采用经验法，即 K_d 由小到大逐渐调整，以

得到满意结果。至于超前滞后环节中的 T_1 和 T_2 ，一般依据调节通道 $G_o(s)$ 和扰动通道 $G_f(s)$ 的具体情况斟酌决定。

二、选择性调节系统

从六十年代以来，选择性调节系统发展很快，这种系统在结构上的特点是使用选择器，可以在两个或多个调节器的输出端，或在几个变送器输出端对信号进行选择，即

$$u_o = \min(u_1, u_2, \dots, u_m)$$

或

$$u_o = \max(u_1, u_2, \dots, u_m)$$

以适应不同的工况需要。通常的自动调节系统在遇到不正常工况或特大扰动时，很可能无法适应，只好从自动改为手动。例

如大型压缩机、泵、风机等的过载保护，过去通常采用报警后由人工处理或采用自动联锁方法，这样势必造成操作紧张，设备停车，甚至会引起不必要的事故。在手动的一段时间里，操作人员为确保安全生产，适应特殊情况，有另一套操作规律。若将这一任务交给另一调节器来实现，那就可扩大自动化应用范围，使生产更加安全。选择性调节系统可以解决上述问题，在国外文献上把这种应用称之为“超驰”（override）调节，即工艺超界限时也能有调节。亦有人称之为“取代”调节。

1. 选择性调节系统的类型

（1）选择器在调节器与调节阀之间（被控变量的选择）

这种类型的选择性调节系统的特点是几个调节器公用一只调节阀。其中一只调节器在正常工况下工作；另一只调节器处于待命备用状态，遇到工艺状况不正常，即被控变量超过容许的极限高度（称为安全软限），就由它取代正常工作调节器一直到工况恢复正常，仍切回原来的调节器来控制，这是使用最广的一类选择性调节系统。

图1—3所示为氨蒸发器的选择性调节系统。控制目标是工

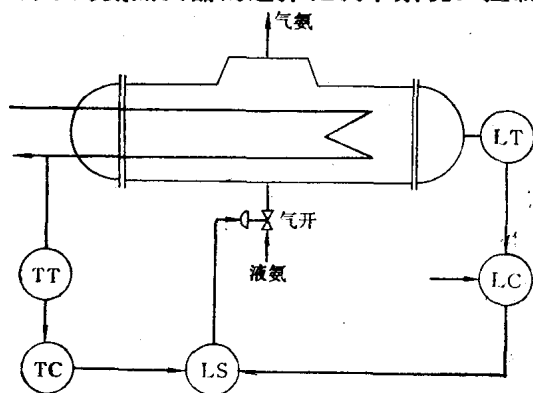


图 1—3 氨蒸发器的选择性控制

工艺介质出口温度 T 保持恒定。但当液氨全部浸没盘管，即液位达到安全软限时，继续增加液氨，不会增加传热量，而且使气氨带液，若带液气氨进入压缩机会造成严重事故。为此采用图1—3所示选择性控制系统，用一个低选器装在TC和LC之间。正常工况时由TC通过LS来控制进液氨量，从而使出口温度恒定。当工况不正常时，即液位超过安全软限时，超驰调节器（液位调节器）LC输出减少，LS选中液位调节器，即它取代了温度调节器的工作，减少液氨进入量，防止液位偏高而发生事故。一旦液位恢复正常后，液位调节器输出增加，仍由TC来控制液氨量，而LC退出控制，处于待命状态。可见，由选择器来选择一个调节器工作，即操纵变量只有一个，而被控变量有温度和液位两个量，由低选器LS在两个被控变量之间选择一个。因此这种结构亦就是选择被控变量。

（2）选择器在变送器和调节器之间（选择测量信号或操纵变量）

这类选择性调节系统的特点是几个变送器或操纵变量公用一只调节器，其目的主要有三种：

（a）选择最高或最低测量值 例如自动找出反应器的热点。

（b）选择可靠的测量值 如在比较重要的检测点而且变送器失灵的机会又较多时，可以同时装三个变送器，从中选择中间值，因为中间值往往是比较可靠的数值。

（c）按事先规定的原则来选择操纵变量 如一个被控变量有几个操纵变量可供选择，也可用选择性调节系统按不同工况来选择不同的操纵变量。例如加热炉有几种燃料时，燃料A的流量不超过上限 A_m 时，尽量用A；当燃料A流量大于 A_m 时，则用燃料B来补充。选择性调节系统如图1—4所示。温度调节

器的输出 n ，正常时 $n < A_s$ ，此时TC与 $F_A C$ 串接控制， $F_B C$ 设定值为 $n - m = 0$ ，所以燃料阀B关闭。当 $n > A_s$ 时， A_s 选中作为 $F_A C$ 的设定值，此时 $F_B C$ 设定值为 $n - A_s > 0$ ，开启燃料阀B，以补充燃料A的供应不足，使出口温度保持恒定。可见运用LS可选择不同操纵变量。

考虑到实际应用时，两种燃料的热值不一定相等，两种燃料流量的测量范围也不一定相等，方案中要求两个流量表的量程应很好地匹配，可在加法器的输出端再接入一乘法器，引入一个比例系数 K ，以取得良好的效果。

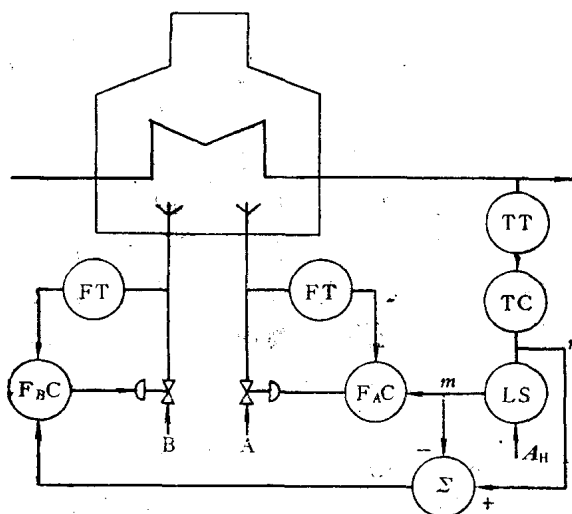


图 1—4 加热炉的选择性控制

2. 选择性调节系统的设计

①调节器的选型 选择性控制系统中一般有两个调节器，它们的正反作用应分别按工艺规律及阀门的气开与气关型式决

定。正常调节器的选型与简单调节系统完全一样。超驰调节器则需考虑达到极限时能迅速切换的能力，为此应选择狭比例度的P或PI调节器，亦可采用位式调节器。

②调节器的防积分饱和措施 在选择性调节系统中，当进入或超出安全软限时，调节器应立即进行切换，也就是说，在偏差为零时，两个调节器应该同步，应该有相同的输出。这样才能保证及时的切换。

当其中的一个调节器或两个调节器都采用PI时，则在一个调节器工作，另一个调节器处于待命状态时，偏差显然存在，而且会存在相当一段时间，这个调节器输出就会积分到上或下限值，产生积分饱和现象，下一次切换将不能及时进行。特别时超驰调节器具有PI作用时，问题就更大，由于不能及时地切换上去，而要延迟一段时间，可能会起不到防止事故的作用，这对于安全保护作用的选择性调节系统来说是绝对不允许的。故应采取防止积分饱和措施。这里所说的积分饱和与过去讨论的不完全一样，由于偏差长期存在，当偏差为零或反向时，调节器的输出仍要超出规定的上（下）限一段时间，这是一般意义下的积分饱和。这里把偏差为零时两个调节器输出不能同步也称积分饱和，产生问题的根源是一样的，但在此更显得严重。

选择性调节系统防止产生积分饱和的基本思想是：希望两个调节器的输出在偏差为零时保持同步，一旦偏差反向时可以迅速切换。防止积分饱和的常用方法是用选择器的输出，即送往调节阀的信号作为调节器的积分外反馈。如图1—5所示。这样当调节器1开环待命时输出为：

$$u_1 = K c_1 e_1 + u_2$$

而调节器2处于开环待命时输出为：