

第4章 DCS控制算法及组态

控制层软件是运行在现场控制站的软件，过程数据的输入/输出、数据表示(实时数据库)、连续控制、顺序控制以及报警检测等，主要完成PID回路控制、逻辑控制、顺序控制和混合控制等多种类型的控制功能。

- 本章内容：
- PID控制算法

➢ 复杂控制算法

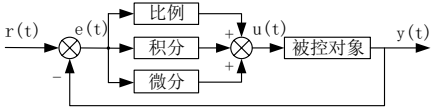
➢ 顺序控制算法

➢ DCS控制算法的组态

机械与电气工程学院

一、PID控制算法

PID(proportional–integral–derivative)控制，即比例积分微分控制，是最早发展起来的控制策略之一。由于其算法简单、鲁棒性好和可靠性高，被广泛应用于工业过程控制，至今仍有90%左右的控制回路具有PID结构。



➢ 时域

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

比例增益

积分时间

微分时间

➢ S域

$$U(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right) E(s)$$

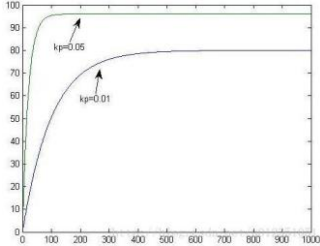
机械与电气工程学院

PID各项的作用

➢ 比例项

比例项即时成比例地反应控制系统的偏差信号e(t)。偏差一旦产生，控制器立即产生控制作用以减小误差。

增大比例系数越大，系统响应越快，静态误差越小。



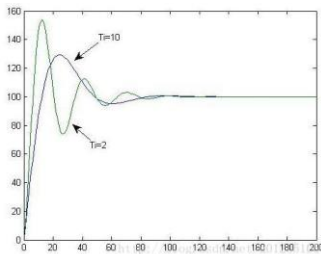
机械与电气工程学院

PID各项的作用

➢ 积分项

积分项能对误差进行记忆，主要用于消除静差，提高系统的无差度。

积分时间常数越大，积分项系数就越小，积分作用就小。



增大积分时间Ti有利于减小超调，减小振荡，使系统的稳定性增加，但是系统静差消除时间变长

机械与电气工程学院

PID各项的作用

➢ 微分项

微分项反映偏差信号的变化趋势(变化速率)，并能在偏差信号值变得太大之前，在系统中引入一个有效的早期修正信号，从而加快系统的动作速度，减小调节时间。

从时间的角度讲，比例作用是针对系统当前误差进行控制，积分作用则针对系统误差的历史，而微分作用则反映了系统误差的变化趋势，这三者的组合是“过去、现在、未来”的完美结合。

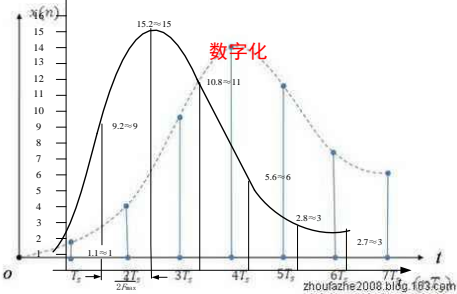
★思考：



机械与电气工程学院

连续信号离散化

对连续的模拟信号按时刻点(一般等间隔)取值，就可得到离散化的值。



机械与电气工程学院

1. 位置算法

设采样周期为T，则第k次采样时刻t=kT，所以：

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$
$$u(t) \approx u(kT)$$
$$e(t) \approx e(kT)$$
$$\int_0^t e(t) dt \approx \sum_{j=0}^k e(jT)T$$
$$\frac{de(t)}{dt} \approx \frac{e(kT) - e[(k-1)T]}{T}$$
$$u(k) = K_p e(k) + K_I \sum_{j=0}^k e(j) + K_D [e(k) - e(k-1)]$$

积分系数： $K_I = \frac{K_p T}{T_i}$

微分系数： $K_D = \frac{K_p T_d}{T}$

PID的输出与控制阀(执行器)的开度(位置)一一对应

机械与电气工程学院

2. 增量算法

PID增量控制算法为相邻两次采样时刻所计算的**位置之差**，即：

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1)$$
$$= K_p \Delta e(k) + K_I e(k) + K_D [\Delta e(k) - \Delta e(k-1)]$$

其中， $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$ 。

增量算法输出的 $\Delta u(k)$ 表示**阀位的增量**，控制每次只按增量大小实施动作。

主要优点：

- 算式中不需要累加。控制增量 $\Delta u(k)$ 的确定仅与最近3次的采样值有关，容易通过加权处理获得**比较好的控制效果**；
- 计算机每次只输出控制增量，即对应执行机构位置的变化量，故机器发生故障时**影响范围小**、不会严重影响生产过程；
- 手动—自动切换时冲击小**。当控制从手动向自动切换时，可以作到无扰动切换。

机械与电气工程学院

3. 速度算法

PID控制速度算法是**增量算式除以采样周期T**，即：

$$v(k) = \frac{\Delta u(k)}{T}$$

速度算法输出 $v(k)$ 表示阀位在采样周期T内的变化率，一般用于不等周期的采样场合。

S2 → SP

S1 → PV

S3 → TR

S4 → TS

△

PID

[19]

N

INFI-90系统中功能码为19的PID功能块

S1 过程变量输入块地址

S2 设定值输入块地址

S3 跟踪参考信号输入块地址

S4 跟踪开关信号输入块地址

S5 增益放大系数(K)

S6 比例系数(KP)

S7 积分系数(KI)

S8 微分系数(KD)

S9 输出上限

S10 输出下限

S11 0=正常；1=积分

S12 0=正作用；1=反作用

4. 改进PID控制算法

经典PID算法简单实用，但存在缺点，于是出现**诸多改进算**。

	题名	作者	来源	发表时间	数据库	索引	下载	阅读
□ 1	考虑路面时变的整车主动悬架的改进模糊PID集成控制策略	胡国威, 杨晨光	现代制造工程	2020-02-18	期刊		16 次	KJNL
□ 2	基于改进模糊PID的轮式机器人速度控制器设计	王鑫, 刘海明, 王树刚, 吕晓之, 陈委	湖北科技大学学报	2020-02-15	期刊		12 次	KJNL
□ 3	BSF模型预测PID在两级AO污水处理中的改进研究	王文成, 薛胜彪, 周金峰, 张荣	现代电子技术	2020-02-01	期刊		5 次	KJNL
□ 4	基于改进的PID算法控制的注塑机注射速度系统	陈黎	塑料科技	2020-01-25	期刊		8 次	KJNL
□ 5	基于改进BSF-PID的舵机力加载控制系统研究	张德建, 纪强, 陈祥才, 金亚化, 孙青勇	制造业自动化	2020-01-25	期刊		5 次	KJNL
□ 6	针对稳定和不稳定二阶时滞过程的IMC-PID控制器的性能改进设计 (英文)	Munna KUMAR, Durga PRASAD, Ram Sharan SINGH	Journal of Central South University	2020-01-15	期刊		8 次	11
□ 7	基于机器视觉和改进PID的压电柔性机械臂驱动控制	马天庆, 周敏, 杜军, 刘建	光学精密工程	2020-01-15	期刊		19 次	KJNL
□ 8	雷岩机器人粘臂OPC-PID改进控制	程建, 王露坤, 戴文彬	制造业自动化	2019-12-25	期刊		16 次	KJNL
□ 9	改进的BSO算法在PID参数整定中的应用	谢江波, 陈亮, 杨利	烟台机床与自动化加工技术	2019-12-20	期刊		47 次	KJNL

机械与电气工程学院

二、复杂控制算法

1. 前馈控制

前馈控制系统是指通过测量干扰的变化并经控制器的控制作用直接**克服干扰**对被控变量的影响，即使被控变量不受干扰或少受干扰的影响的控制方式组成的控制系统。

前馈控制实质上是一种对扰动按补偿原理进行调节的开环控制系统。

换热器前馈控制系统

机械与电气工程学院

前馈控制(续)

该换热器前馈控制系统的框图如下：

系统输出： $Y(s) = [G_f(s) + G_d(s)G_o(s)]F(s)$

为了使系统在扰动作用下不受影响，需要：

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

$$\text{即：} G_d(s) = -\frac{G_f(s)}{G_o(s)}$$

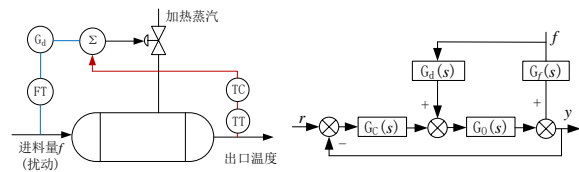
可见，对于某一**特定扰动**，如果**补偿得当**，前馈控制系统的品质十分理想。

机械与电气工程学院

2

前馈-反馈控制

在实际应用中通常将前馈控制和反馈控制结合起来，构成前馈反馈控制系统。**前馈控制**克服主要扰动的影响，**反馈控制**克服其余扰动及前馈补偿不完全部分。

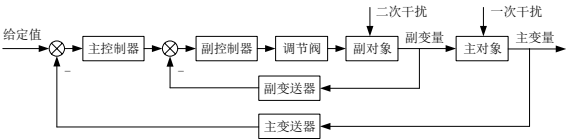


DCS中一般采用前馈和反馈相加的**前馈-反馈控制方案**。

机械与电气工程学院

2. 串级控制

串级控制系统是两只控制器**串联**起来工作，其中一个控制器的输出作为另一个控制器的设定值的系统。



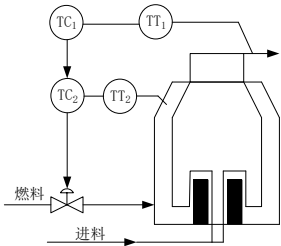
➤ **主、副回路**

内部的闭合回路称为副回路(内环)，外部的闭合回路称为主回路(外环)。

另外：主、副控制器，主、副**变量**，主、副**对象**

机械与电气工程学院

串级控制示例：加热炉出口温度控制



采用炉出口温度对炉膛温度的串级控制。

串级控制主要应用于：对象的滞后和时间常数很大、干扰作用强而频繁、负荷变化大、对控制质量要求较高的场合。

机械与电气工程学院

3. 其它控制系统

- **Smith预估补偿控制**
- **选择性控制**
- **比例控制**
- **先进控制.....**



参考教材及“**过程控制系统**”相关资料。

机械与电气工程学院

三、顺序控制算法

顺序控制是按照**预先规定的顺序**(逻辑关系)，逐步对各阶段进行信息处理的控制方法。

顺序控制以**逻辑关系为前提**，运算过程以逻辑运算为主，输出信息是二进制的0、1或者通断等逻辑值，因此**顺序控制又称为逻辑控制**。

顺序控制系统可分为三类：

➤ **时间顺序**

时间顺序控制系统的执行指令**按时间排列**，固定不变，所以又称**固定程序控制系统**。

➤ **逻辑顺序**

逻辑顺序控制系统的执行指令**按先后顺序排列**，和时间无严格的关系。

➤ **条件顺序**

条件顺序控制系统是以**条件成立与否为前提**，当其条件不同时，有不同的执行过程。

机械与电气工程学院

顺序控制系统的控制器件

顺序控制系统按所用的**器件**可分为**继电器式**、**无触点式**和**可编程式**三种。

➤ **继电器式**

采用继电器等电气机械式的触点和线圈来完成顺序控制功能。

➤ **无触点式**

采用晶体管等半导体器件来完成顺序控制功能。

➤ **可编程式**

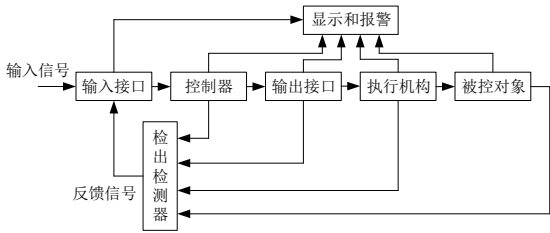
采用微处理器来完成顺序控制功能。

DCS采用**可编程式**来实现顺序控制功能

机械与电气工程学院

1. 顺序控制系统的组成

典型的顺序控制系统如下图所示：



典型的顺序控制系统主要由控制器、输入接口、输出接口、检出和检测装置、显示和报警装置等五个部分组成。

机械与电气工程学院

顺序控制系统的组成

1) 控制器

控制器是**指令形成装置**。它接受控制信号输入，经处理(状态检查、逻辑判断)后产生完成各种控制作用的控制输出信号。

k 时刻的系统输出 y_k 与系统状态 s_k 和输入 x_k 之间的关系：

$$y_k = f(s_k, x_k)$$

$k+1$ 时刻的系统状态 s_{k+1} ：

$$s_{k+1} = g(s_k, x_k)$$

2) 输入接口：完成输入信号的电平转换。

3) 输出接口：完成输出信号的电平转换。

4) 检出和检测装置：检出和检测被控对象的一些状态信息。

5) 显示和报警装置：显示输入、输出、状态和报警灯信息。

机械与电气工程学院

2. 逻辑运算

顺序控制中的基本量是**离散的数字量**，其运算是逻辑运算，常用**布尔代数**、**真值表**和**卡诺图**的方法进行描述。

$$\begin{aligned} F &= AB + \bar{C} + A\bar{C} + B \\ &= (\bar{A} + \bar{B})C + A\bar{C} + B \\ &= \bar{A}C + \bar{B}C + A\bar{C} + B \\ &= B + C + \bar{A}C + A\bar{C} \\ &= B + C + A + \bar{A}C \\ &= A + B + C \end{aligned}$$

A	B	C	F
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	0
1	1	0	1
1	1	1	1

AB

00011110

01

0111

0

1

1

0

1

0

机械与电气工程学院

3. 顺序控制系统的实现

DCS中顺序控制系统通过程序的执行来完成，一般有两种方法：

➤ 巡回扫描

当CPU在运行状态时，它将**反复自动地**执行用户程序，更新输入输出映像区。

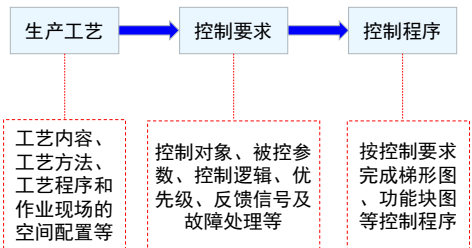
➤ 实时采集和输出

为了提高实时性，在巡回扫描中，当需要某一过程变量的信息时，就**中断程序**，实时采集该数据并存入输入映像区，然后执行后续程序步；当需要输出某一个变量时，也立即执行相应地输出任务。

机械与电气工程学院

4. 程序条件的编制

程序条件的编制是根据**工艺**提出的顺序控制要求来进行的。



机械与电气工程学院

程序条件的描述

程序条件可以采用**程序框图**、**流程表**、**功能表**或者**程序说明书**的形式来描述。

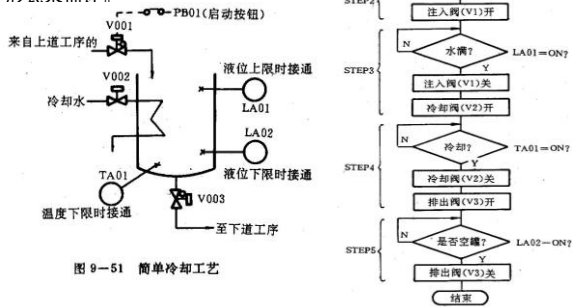


图 9—51 简单冷却工艺

程序条件的描述

➤ 流程表

用于表示时间顺序或步进型的控制系统中，用流程的步来表示相应步内仪表、电气设备的阀门的开启或关闭状态。

设备号	说明	规定步骤	01	02	03	04	05	06
			1	2	3	4	5	6
PB01	自动按钮		Y					
LA01	液面上限开关				Y			
LA02	液面下限开关		Y				Y	
TA01	温度开关				Y			
V001	注入阀			Y	N			
V002	冷却阀				Y	N		
V003	排出阀			N		Y	N	
下一步骤	下一步 (THEN)		2	3	4	5	1	
	否则 (ELSE)							

机械与电气工程学院

程序条件的描述

➤ 功能表

功能表用图形符号和文字说明相结合的方法来描述程序条件，也叫顺序功能表。

➤ 程序说明书

采用文字说明的形式来描述程序条件，适用于一些顺序逻辑关系不太复杂的控制系统，也可以作为其它描述方法的补充。

机械与电气工程学院

四、DCS控制算法的组态

DCS把各种控制算法编制成程序，并设计成模块形式，称为功能块。

在控制功能块中，除各种PID模块外，通常还包括：

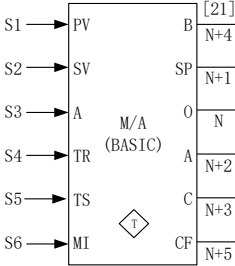
- 运算类功能块；
- 输入/输出功能块；
- 通信功能块；
- 转换类功能块；
- 函数功能块；
- 逻辑功能块。

功能块是最基本的算法单元。控制器中的基本功能都可以通过功能块组态来完成，优化控制功能可以通过DCS中的高级编程语言组态编程和功能块结合实现。

机械与电气工程学院

1. INFI-90系统的控制组态方法

INFI-90 DCS系统有200多种功能块，还有基本站、串级站和比例站等3种站功能块，用于单回路、串级和比例控制系统中。



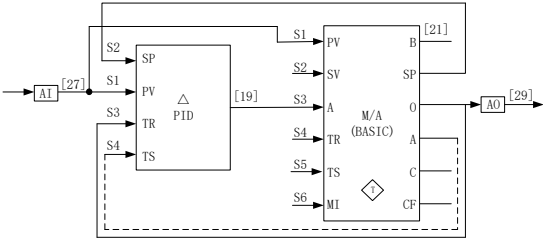
基本站功能块

S1	过程变量输入块地址
S2	设定值输入块地址
S3	自动信号或输入的块地址
S4	跟踪参考信号输入块地址
S5	跟踪开关信号输入块地址
S6	手动联锁块地址：0=释放；1=手动
⋮	⋮
S116	数字控制站地址

机械与电气工程学院

INFI-90系统的控制组态方法

对于组态用户来说，就是从功能块库中选择功能块，并赋予地址，然后填写参数，连接功能块，完成控制组态，以执行用户需要的控制逻辑，完成控制任务。



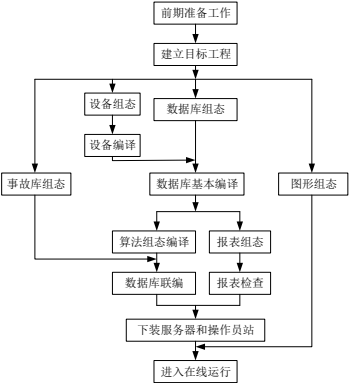
单回路控制系统组态图

机械与电气工程学院

2. MACS的应用组态流程

MACS是北京和利时公司开发的新一代DCS。

此系统为用户提供的是一个通用的系统组态和运行控制平台，应用系统需要通过工程师站软件组态产生，即：把通用系统提供的模块化功能单元按一定的逻辑组合起来，形成一个完成特定要求的应用系统。



第4章结束 谢谢!