

# 基于 SIMATIC 系统的先进控制理论实验平台的开发

王晓芳 张继研 金路路

(大连理工大学工业装备先进控制系统辽宁省重点实验室, 大连 116024)

摘要: 本文针对辽宁省工业装备先进控制系统重点实验室间歇反应釜对象的工艺特点, 设计了以工控机、S7-300PLC 控制器、现场控制仪表等构成的间歇反应过程先进控制系统; 开发了基于 WinCC 的监控管理平台, 为先进控制理论的仿真研究与实验验证提供了一个友好的人机环境。

关键词: S7-300PLC, WinCC 监控组态软件, 先进控制理论

中图分类号: TP273 文献标识码: A

## The Development of the Advanced Control System Based on Simatic System

WANG Xiao-fang, ZHANG Ji-yan, Jin Lu-lu

(The Liaoning Industrial Equipment Advanced Control Key Lab University of Technology,  
Dalian Univ. of Technology, Dalian 116024, China)

**Abstract:** This paper develops an advanced control system consisting of IPC, PLC, industrial control network for the reactor in Liaoning Key Lab of Advanced Control Systems for Industry Equipments, with which the dynamic matrix control for integral system is successfully applied to the reactor. For this distributed control system, S7-300 PLC executes the basic control function, and IPC is the operator station running Wincc, and an integrated friendly management and experimental platform is developed, which not only can fulfill the advanced control theory simulink research and its practical application, but also can realize control algorithm verification, database management.

**Key Words:** S7-300PLC, WinCC, advanced control theory

CLC number: TP273

Document code: A

### 1 引言

在工业控制领域, 如何有效地开发针对特定对象的先进控制算法是人们普遍关心的问题<sup>[8]</sup>; 同时在工控系统开发过程中, 实现控制与仿真的集成是当前的发展方向。间歇反应釜由于具有大滞后、时变、非线性、反应机理复杂等特点, 其控制系统的设计与研究一直是控制界的一个热点与难点<sup>[7, 10]</sup>。我校的工业装备先进控制系统辽宁省重点实验室针对间歇反应釜的这一研究特点, 设计了以上位机、PLC、工业控制网络等硬件构成的间歇反应过程控制环境; 利用组态软件 Wincc 丰富的图形功能以及强大的内置编程语言 VBA, 开发了集先进控制理论仿真研究与实际应用相结合的集成管理与实验研究平台, 实现了批量工业过程先进控制技术的应用研究<sup>[1, 6, 9]</sup>。

实验室的间歇反应釜工艺流程如下图 1 所示。反应介质在釜内混合后发生化学反应, 在夹套与釜内分别安装加热/冷却系统。反应物升温阶段, 给均匀分布在夹套油浴内的 12 支热电阻加热棒通电, 加热油浴, 从而间接给釜内物料加热; 反应器内盘有蛇形管, 冷却水在反应釜内的蛇形管中循环, 在反应的放热阶段, 通过调节冷却水流量来控制釜内温度。

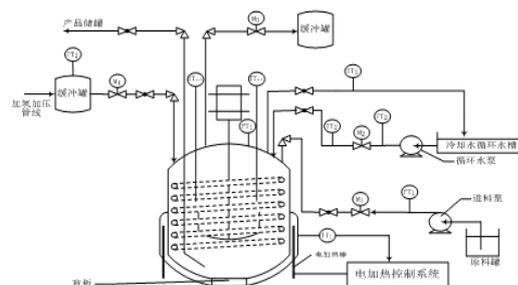


图 1 间歇反应釜控制点流程图

### 2 间歇反应釜控制系统设计

#### 2.1 间歇反应釜工艺及其控制回路

该工艺系统的主要控制回路有: 加热控制回路, 通过 PLC 输出控制给分布在夹套油浴内的 12

根加热棒的加热功率，从而间接控制对釜内物料加热的温度；冷却水控制回路，通过调整冷却水的流量来控制反应釜内部的反应温度；其他相关控制回路还有：反应釜内压力控制回路，加料控制回路和搅拌速率控制回路等。

### 3. 控制系统的设计

#### 3.1 控制系统硬件配置

结合间歇反应釜现场工艺条件，选用 PLC 作为基本控制层，PC 机作为监控管理层，组成经济适用型集散控制系统<sup>[2,3]</sup>，其系统结构如图 2 所示。PLC 的型号主要是根据反应釜要求的 I/O 点数以及电流大小决定。实验室的 S7-300PLC 的 CPU 模块选用 CPU 314C-2DP，该 CPU 模块集成了 1 个 PROFIBUS 通讯接口，5 个模拟量输入接口，2 个模拟量输出接口，24 个数字量输入接口，16 个数字量输出接口，满足了工艺点对控制器的要求<sup>[4,5]</sup>。此外根据今后工艺改造的需要，还选配了 1 个 SM331 模拟量输入模块，3 个 SM332 模拟量输出模块。通讯模块选用工业以太网通讯模块 CP343-1，通过此模块实现 PLC 与上位机的通讯，电源模块为 PS307 5A。

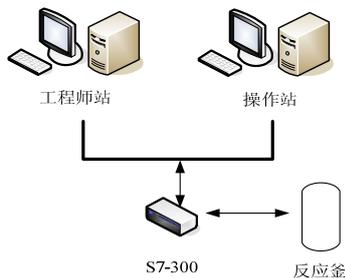


图 2 控制系统结构图

#### 3.2 控制系统软件设计

##### 3.2.1 PLC 软件设计

间歇反应釜控制系统分为两级控制，PLC 组成基本控制层，包括进料流量控制、反应釜夹套温度控制、反应釜釜温控制、釜压、缓冲罐压力控制以及启停的逻辑控制、顺序控制等；上位机实现基本监控功能及开发与验证针对批量对象的先进控制理论。在详细分析工艺流程和控制要求的基础上，控制级程序采用模块化的编程思想<sup>[1,3]</sup>，将系统控制要求按照功能和使用目的划分成多个程序模块，每个程序模块完成单一的功能，程序编制简单清晰，便于调试、修改和查错。系统运行时，PLC 执行基本控制功能，而且在上位机出现故障的时候能够独立实现反应过程的程序控制。本系统中一些简单的和控制精度要求不很高

的控制回路采用 S7-300PLC 中的 PID 模块设计控制器，如夹套温度的控制，釜压的控制；而那些对生产质量影响比较大的、控制精度要求比较高而又难以控制的变量，如果采用常规 PID，很难达到工艺生产的要求。本文所研究的间歇反应釜具有时变性、不确定性、非线性、反应机理复杂等特点，常规 PID 控制不能满足温度轨迹跟踪的控制要求，本位开发了在上位机中嵌入先进动态矩阵的控制策略，取得了良好的控制效果。

PLC 程序包括初始化程序模块 OB100、诊断中断组织模块、主程序模块 OB1、输入模块 FC1、开关量控制模块 FC2、输出模块 FC3、报警模块 FC5、手动控制模块、夹套温度控制模块 FC4、釜温常规控制模块 FB41、循环中断组织模块 OB35。PLC 的软件流程如下图 3 所示

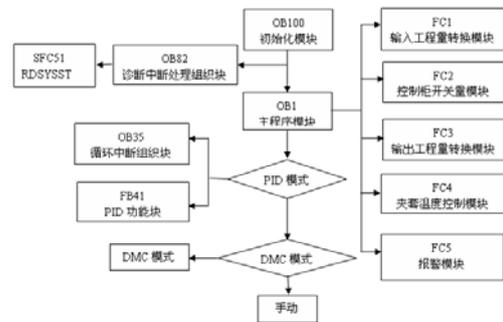


图 3 PLC 软件流程图

##### 3.2.2 上位机监控系统的开发

上位机的监控系统由西门子的 WinCC 来完成<sup>[4,5]</sup>，WinCC 工控软件是一种基于 Windows 平台设计的、易用的、开放式的 HMI 控制系统，作为 SIMATIC 全集成自动化系统的重要组成部分，WinCC 确保了上位机与 SIMATIC S7 系列 PLC 的连接方便和通讯的高效；

本文通过对 WinCC 的二次开发，构建了间歇反应釜控制系统的先进控制理论仿真与应用研究平台，在此平台上，实现了对间歇反应釜流程的可视化监控，及先进控制算法的开发与验证。反应釜对象监控窗口主要界面如下图 4 所示。

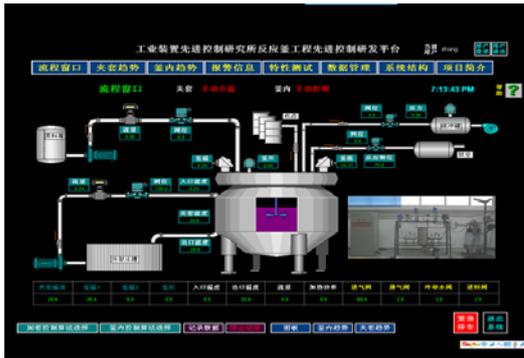


图4 间歇反应釜工艺流程窗口

#### 4. 先进控制理论应用研究

在本文所设计的控制系统的基础上，针对实际过程对象的工艺特点，提出了在WinCC监控平台上开发基于实验经验与动态矩阵控制的反应釜温度控制方案<sup>[12, 13]</sup>，其基本设计思想如下：在开始升温阶段，首先保证夹套温度迅速达到给定值。而由于夹套温度与釜温之间存在较大的滞后，这段时间内釜温基本维持不变。待夹套温度稳定到给定值后，再调用动态矩阵控制子程序，使釜温跟踪工艺要求的温度设定轨线。通过对上位机组态软件的二次开发，将非自衡系统的动态矩阵控制算法以VBA（Visual Basic for Application）形式嵌入监控平台。

以上控制思想具体实施如下：由于要求夹套温度迅速达到给定值，本文设计了基于经验的夹套温度程序控制方案。夹套温度稳定之后，上位机WinCC调用所嵌入的针对非自衡系统的动态矩阵控制软件包，对釜温进行跟踪控制，使其按设定轨迹上升到恒温段温度。控制参数选择如下：在手动模式下，进行了开环阶跃响应测试，得到釜温对象的阶跃响应数学模型：

动态矩阵

$$A^T = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1.1521 & 2.3041 & 3.4562 & 4.6083 & 5.7604 & 6.9124 & 8.0645 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.1521 & 2.3041 & 3.4562 & 4.6083 & 5.7604 & 6.9124 \end{bmatrix}$$

系统采样周期为10s，控制时域为2，预测时域为10，建模时域为30。升温段控制开始时首先需要确定釜温给定值的初始值和给定增长速率，待达到期望稳定值后，给定增长速率自动为0，给定值变为恒定，进入恒温段控制。图5为采用常规PID的釜温跟踪曲线，图6为采用非自衡DMC控制的釜温跟踪效曲线。其中曲线1为釜温设定曲线，曲线2为釜温的实际变化曲线。

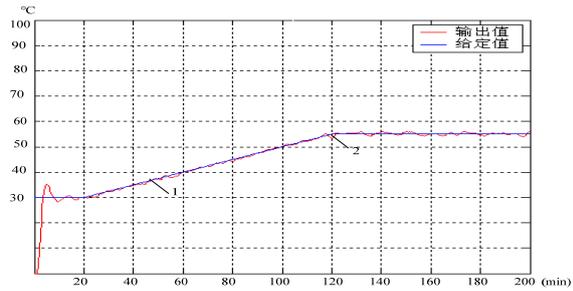


图5 采用PID的釜温控制曲线

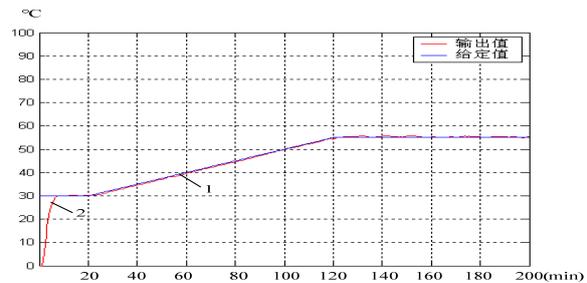


图6 采用非自衡DMC的釜温控制曲线

对比图5与图6的控制效果可以看出，采用常规的PID算法跟踪釜温设定曲线时存在振荡、超调和精度低的缺点。而采用非自衡DMC算法进行控制，釜温仍能以较高的精度无超调逼近期望的轨迹。

#### 5 结语

本文针对批量、半批量工艺对象这一控制系统的难点与热点，设计了50升间歇反应釜的先进控制系统：由西门子的PLC作为基本控制级，运行WinCC监控软件的上位机作为监控管理级，实现了对反应釜的分层控制。同时，利用WinCC丰富的图形与数据库功能以及强大的内置编程语言VBA，开发了先进控制系统实验研究平台，在此平台上，可以进行批量工业过程先进控制技术的仿真与实际应用研究；已开发的适用于非自衡系统的DMC软件包，实现了对反应釜温度的快速、高精度的跟踪控制。

参考文献：

- [1] 西门子有限公司自动化与驱动集团. 深入浅出 西门子 S7-300 PLC. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2005.
- [2] 廖常初. S7-300/400 PLC 应用技术, 机械工业出版社, 2005.

学科项目建设资助项目，面向复杂工业过程集成与优化控制的应用环境建设与先进控制方法研究

- [3] 胡学林.可编程控制器原理及应用，电子工业出版社，2007.
- [4] 西门子(中国)有限公司自动化与驱动集团. 西门子 WinCC V6.北京:北京航空航天大学出版社，2005.
- [5] 陈健, 黄天戌, 任清珍. 工控组态软件 WinCC 及其应用的实现. 微计算机信息, 2000,10(2):10-12.
- [6] 王树青, 金晓明. 先进控制技术应用实例.北京: 化学工业出版社, 2005.
- [7] 于海英, 侯九阳, 乔付. 化学反应釜温度控制系统的研究. 黑龙江科技学院学报, 2002, 12(4): 25-28.
- [8] 张永辉, 邵诚, 崔波. 铝粉雾化炉铝液温度模糊-PID 复合控制. 大连理工大学学报, 2006, 46(4):572-575.
- [9] 孙正贵, 李永彪, 赵清杰. 间歇聚丙烯生产的智能控制方案. 工业仪表与自动化装置, 2002, (5):15-17.
- [10] Abonyi J, Nagy L, Szeifert F. Takagi-Sugeno fuzzy control of batch Polymerization Reactors. IEEE International Conference on Intelligent Systems, IN ES'97, Budapest, Hungary. 251-255.
- [11] 朴春俊, 陈彩莲. 模糊控制在聚合反应釜中的应用及仿真研究. 系统仿真学报, 2001, 13(5):558-566.
- [12] Florence Xaumier, Marie-Veronique Le Lann. Experimental application of nonlinear model predictive control: temperature of an industrial semi-batch pilot-plant reactor. Journal of Process Control, 2002, 12: 687-693.
- [13] 席裕庚. 预测控制 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1993.

#### 作者简介

王晓芳 (1968—), 女 (汉), 籍贯: 四川, 职称: 工程师, 学位: 硕士, 博士在读, 所从事研究方向: 先进控制技术。(联系方式: 13942052238)

项目来源: