

# 基于PCS7化工反应过程控制系统的 仿真设计与实现

方红彬<sup>1</sup>,徐德树<sup>2</sup>,石宽<sup>2</sup>,麻丽明<sup>1</sup>,樊新乾<sup>1</sup>,殷忠敏<sup>1</sup>

(1.河北机电职业技术学院 电气工程系,河北 邢台 054000;

2.天津电气科学研究院有限公司,天津 300301)

**摘要:**利用PCS7软件和SMPT-1000实训装置设计仿真与实现了化工过程控制系统,该化工连续反应控制系统分别对物料进料、液位、温度、压强、冷却水与产物提纯等过程变量进行了PID控制,通过对整个控制系统的开车顺序控制和回路算法分析,在此基础上,开发了WINCC人机界面。通过对控制系统的结果分析,该化工过程控制系统的设计与实现具有一定的实际意义,在整个控制系统中对过程变量的控制,实现了优越稳态性能和响应速度以及高效的产率。

**关键词:**连续反应;PCS7软件;PID控制;过程控制

**中图分类号:**TP273 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd20821

## Design and Implementation of Chemical Process Control System Based on PCS7

FANG Hongbin<sup>1</sup>, XU Deshu<sup>2</sup>, SHI Kuan<sup>2</sup>, MA Liming<sup>1</sup>, FAN Xinqian<sup>1</sup>, YIN Zhongmin<sup>1</sup>

(1. Department of Electrical Engineering, Hebei Electrotechnical Vocational and Technical College,

Xingtai 054000, Hebei, China; 2. Tianjin Research Institute of Electric Science Co., Ltd.,

Tianjin 300301, China)

**Abstract:** The chemical process control system was designed and realized by using PCS7 software and SMPT-1000 training device. The chemical continuous reaction control system controlled the process variables such as material feeding, liquid level, temperature, pressure, cooling water and product purification by PID. Through the analysis of the start-up sequence control and control loop algorithm of the whole control system, the man-machine interface of WINCC was developed. Through the analysis of the results of the control system, the design and implementation of this control system for chemical process control has certain practical significance. The process variables are controlled in the whole control system. It achieves excellent steady-state performance, response speed and high yield.

**Key words:** continuous reaction; PCS7 software; PID control; process control

化工反应过程是指化学反应物在反应器内由于部分反应物化学成分向生成物迁移,因此反应过程在一定的过程变量(比如温度、压强和液位)的范围区间内,反应物持续不断的生成产物的过程,而且反应物和生成物可以同时存在的一个反应<sup>[1]</sup>。

本文以实际化工生产反应过程为背景,基于PCS7软件和SMPT-1000实训装置设计仿真与实现了化工过程控制系统,该化工连续反应控制系统分别对物料进料、液位、温度、压强、冷却水与

产物提纯等过程变量进行了PID控制,在实际反应过程中,反应物料需要按照一定的比例进行混合反应,混合后的两种反应物一起进入预热装置进行预热,随后进入反应容器中,为了使反应能够充分快速地反应,在反应容器加入了催化剂以达到促进反应的作用,反应过程会持续放热,在维持一定温度和压强的前提下,需要利用冷却水来对反应中的温度进行降温处理。整个反应过程中,在预热器中对反应物料进行初步预热,来加快反应的快速进行。反应器出料口包含生

成物、杂质副生成物、少量催化剂和未反应的反应物,最后在闪蒸罐对其进行闪蒸提纯并对未反应完全的反应物分离提纯。对综合系统方案的设计使得整个系统表现出良好的稳定性和可行性,在控制过程中达到了自动控制的效果,该化工过程控制系统对实际生产的控制有很好的参考意义<sup>[2]</sup>。

## 1 化工反应过程的工艺流程及特性

### 1.1 化工反应过程的工艺流程

化工反应装置示意图如图1所示。该设计的化工反应过程中反应物料分别为物料A和物料B,两者在催化剂C的作用下发生两种反应,一个是主反应生成主产物D,另一个为副反应生成副产物E,其中主产物D为所需产物,副产物E为杂质。反应过程中先使原料A和B混合,预热装置起到初步预热作用,在反应器中物料A和物料B混合后,需要在催化剂的作用下使反应充分进行,反应放热,在冷却水作用下进行对整个反应容器中温度的控制,升温后冷却水流经预热器对反应进行初步预热,进行热能回收。在反应容器中经过反应后,主生成物D和副产物E,连同过量的反应物料A和B以及催化剂C均从反应底部排出。最后在闪蒸罐中提取过量的A循环使用和分离提纯生成物D。

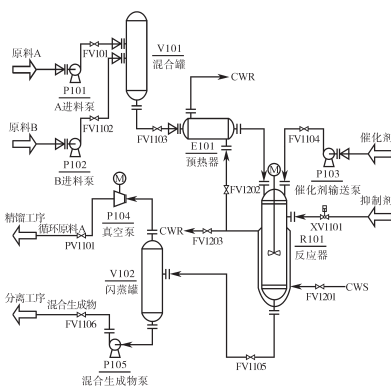


图1 化工反应装置示意图

Fig.1 Schematic diagram of chemical reactor reaction device

### 1.2 反应过程对象特性分析

整个化工反应过程的最终目标就是实现产物量的最大化,在反应过程中去除一定的干扰因素,但实际生产中干扰因素的不确定和不稳定性,使得生产控制变得不是那么容易,这些干扰因素并不能简单的直接被测量出来。在这个控制过程中影响产物产量和转化率的因素很多,比

如反应物料的进料比、反应容器的液位、反应容器中的温度和压强等。在系统稳定控制的情况下对过量的反应物料A进行回收处理和生成物的高产量生产。实际生产过程中反应物料在反应容器中液位越高,反应物料彼此的混合时间就会越长,反应过程中生成物的浓度就会越高,液位增高的同时反应容器中的空间减小使得容器内的压强变化。

在反应过程中,整个控制系统中温度的变化对结果产生的影响很明显。整个控制系统的化工反应是一个放热过程,随着反应时间的增加,反应容器中温度也不断升高,随即反应容器中压强也会随着温度的改变而改变。所以必须使温度保持在设定值,利用冷却水对反应容器中的温度进行冷却降温,同时为了使反应速度加快,在反应过程中会加入催化剂增加反应速率。当反应过程中温度无法得到控制时,压强也会变大,整个控制系统很容易爆炸,如果在反应过程中对控制系统的稳定性失去控制,可以加入抑制剂,使整个反应终止。

在本系统里反应容器中的反应正常进行还需要合理的物料配比,使物料A和物料B按照设定好的配比进入混合物,在预热罐中进行初步预热,预热后的反应物料A和物料B进入反应容器在催化剂的作用下进行充分反应,在闪蒸罐中对过量的物料A进行分离回收,最后分离提纯生成物D,反应过程中要使温度和压强在规定的范围内。

综上,要使整个控制系统安全稳定地运行,必须要按照合理的物料比进行混合,保证合理的液位和催化剂使得反应物料充分反应,整个过程中要将控制系统中的温度和压强合理控制在设定范围内,尽量克服反应过程中的干扰因素保持系统的稳定,保证目标转化率能有所提高<sup>[3]</sup>。

## 2 控制方案设计

### 2.1 整体方案规划

根据控制系统的整体开车步骤,对化工过程控制系统进行综合剖析,化工反应过程控制流程如图2所示。

顺序控制流程简述如下:

1)首先进行初始化,在处于开车前,请确保把控制系统中涉及的阀门和泵处于关闭状态。

2)打开反应物料A的输送泵P101和反应物

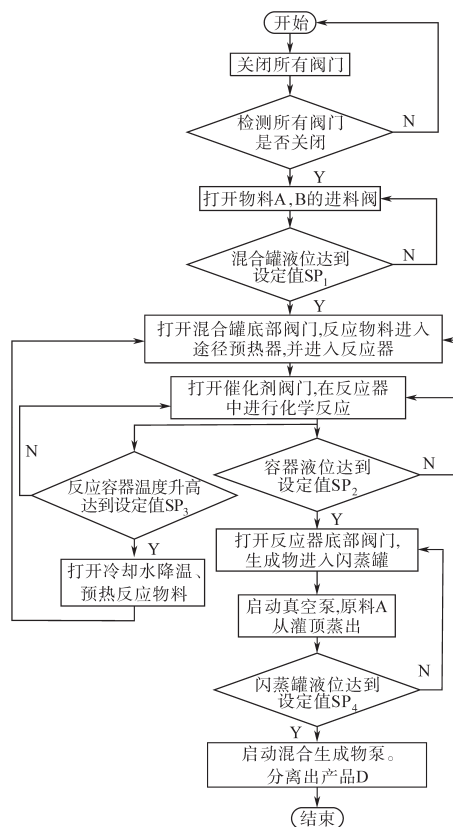


图2 化工连续反应流程图

Fig.2 Flow chart of chemical continuous reaction

料A的进料阀门FV1101;打开反应物料B的输送泵P102和反应物料B的进料阀门FV1102,使反应物料A和物料B以设定比例进入混合罐V101中。

3)当反应物料A和物料B在混合罐V101中到达一定液位高度后,这时打开混合罐中的底部阀门FV1103,使其混合后的物料以小流量先慢慢进入反应器R101中,为促进反应的充分反应,打开催化剂C的输送泵P103并打开催化剂C管线阀门FV1104,使催化剂C能够与反应物料的混合物按照一定的比例进入反应器中。反应物料A和物料B在反应器中充分反应,该反应为放热反应,温度升高后使反应器中的整个容器温度上升,更加促进反应的进行。

4)反应进行一段时间后,此时反应器R101到达设定液位后,可以打开反应器中底部的阀门FV1105,使最后反应生成的物料进入闪蒸罐V102中,对进入闪蒸罐中的混合物进行闪蒸提纯生成物。

5)在闪蒸罐的容器中有混合物进入后,打开真空泵P104对闪蒸罐V102进行抽压,使闪蒸罐中的压力呈现负压,最后从闪蒸罐中顶部把物料A蒸出,然后流经阀门PV1101进一步对反应物料A

进行精馏提纯操作,可以对其进行回收循环备用。

6)在混合生成物进入到闪蒸罐一定液位后,打开混合生成物的输送泵P105和混合生成物阀门FV1106,使生成物从闪蒸罐的底部阀门流出,在下游进行分离工序,得到生成物D。

7)逐步提升负荷。

8)此反应为放热反应,当反应器中温度升高时,打开冷却水对反应器中的温度进行降温处理,冷却水进水阀门为FV1201。

9)对循环冷却水进行回收处理,使其对预热器E101中的反应物料A和物料B进行初步的预热处理,使混合罐中的A和B两种反应物料能达到一定的预热温度。

10)启动循环水的阀门FV1203,和预热器E101形成预热水的循环路径;但是来自反应器的另一部分热水会排出整个控制系统装置,对升温后的冷却水进行利用,确保产品合格的前提下,尽可能提高热水的利用程度,最后达到冷却水的合理使用。

## 2.2 进料流量的比例控制系统

根据控制系统的分析可知,反应物料要按照一定的比例进行混合反应,物料之间采用的是比例控制。根据对两种物料阀门的流量控制实现物料A和物料B的比例控制,使得反应物料能够按照设定的配比进行混合反应,最大化提高反应物料对生成物的转化率,本系统对反应物料进料流量的比例控制示意图如图3所示。

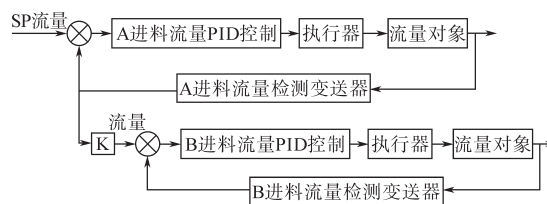


图3 反应物进料流量比例控制示意图

Fig.3 The schematic of proportional control of reactor feed flow

在反应开始时,通过对反应物料A和反应物料B的进料阀的流量控制,控制过程中通过对进料阀门进行PID控制,使得反应物料A,物料B能够按照设定的比例混合流入反应器。

## 2.3 反应温度及升温速率的控制

该化工过程连续反应是个放热反应,随着反应容器中反应温度的不断升高,会影响压强的大小,在反应容器中温度过高不能恒定控制时,也会发生容器爆炸的危险,所以要使整个控制系统

中的温度能稳定在设定值,但温度有较大的滞后性与延迟性。综上可知,对整个控制系统中温度的控制至关重要。反应容器中对温度的串级控制系统如图4所示。

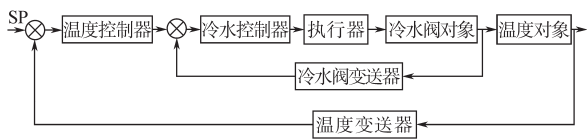


图4 反应温度的串级控制系统

Fig.4 Diagram of cascade control system of reaction temperature

### 2.4 容器液位的串级控制

为了保证系统的充分稳定,反应过程中各液位的控制就要维持在设定的范围内。在混合罐中使反应物料A,物料B按照一定的比例进入并完全混合,达到设定液位时,途经预热器流入反应容器中,在反应容器中也维持在所设定的液位。将反应后的生成产物在闪蒸罐中进行反应物料A的回收和产物D的分离提纯,整个控制系统中的液位维持在设定的范围内,容器中的液位控制和进出阀门流量的控制之间是一个串级控制,液位的串级控制系统如图5所示。

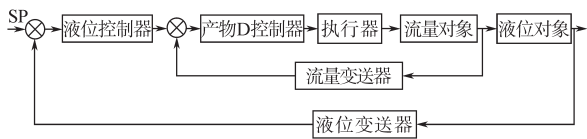


图5 容器液位的串级控制系统

Fig.5 Diagram of cascade control system of container liquid level

## 3 化工连续反应系统的设计开发

### 3.1 系统硬件设计

本系统的控制器选用的是西门子的S7-400PLC,其控制器的CPU型号为412-5H,控制系统的被控对象为SMPT-1000实训装置。

SMPT-1000高级多功能实训装置是集仿真和现场环境模拟于一体的综合性实训平台,通讯方式多元化,可以结合工控机等外部设备进行通讯控制,本系统结合西门子PCS7集成软件组成现场站、控制站、操作站于一体的DCS系统。SMPT-1000实训仿真装置包括很多控制环节,比如锅炉、蒸发器、热交换器等。利用该平台可以仿真和实现多种类的实际生产环节和反应过程<sup>[4-5]</sup>。

将SMPT-1000作为被控对象,西门子S7-400PLC为控制器,该系统工程师站(ES)和操作员站(OS)可以共用同一台计算机,操作员站和工

程师站与控制器S7-400的连接使用的是profinet,控制器与SMPT-1000实训装置采用Profibus-DP连接,控制器和实训装置之间取代了传统的I/O接线,采用通讯模块泗博PM-125进行通讯数据的传输<sup>[6]</sup>。

### 3.2 系统软件设计

系统软件配置为:操作系统为英文版 windows 7系统,控制系统软件采用SIMATIC PCS7 V8.0,PSC7软件模块组成如图6所示。

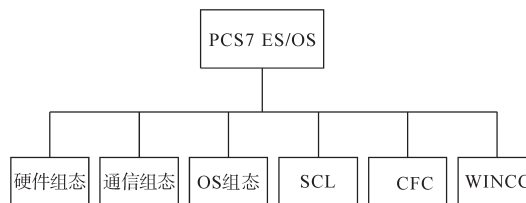


图6 PCS7软件模块组成示意图

Fig.6 Diagram of PCS7 software module composition

CFC用于建立控制系统的底层程序设计,SFC用于完成整个控制系统的开车顺序,还有一些特殊功能的模块可以使用SCL编程来实现程序块的建立及算法的使用等。

组态软件使用的是SIMATIC Manager,根据实际控制系统中的控制器型号和各模块的信息,将控制硬件设备进行组态,针对软件系统通信的配置进行网络模块和WICC网络的组态。本控制系统中的硬件和软件组态工作可以在操作员站和工程站统一完成。

利用组态软件将将自动化站(AS)和操作员站(OS)组态完成后,然后先编译后下载即可。网络结构图可以很清晰地查看各个模块之间的连接方式和通信方式,该化工反应过程控制系统的NetPro网络结构图如图7所示。

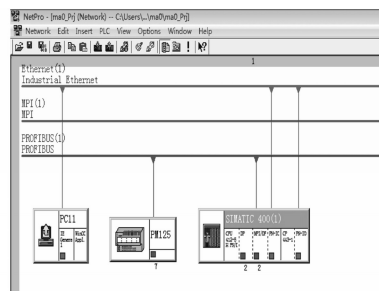


图7 NetPro网络结构图

Fig.7 Diagram of netPro network structure diagram

控制系统底层编程方式采用的是CFC模块化编程,系统的整个开车顺序采用的是SFC顺序

功能图的方式,本化工过程控制系统的整个控制软件设计流程如图8所示。在完成整个控制系统运行方案的前提下,需要绘制出整个控制系统中的控制流程图,根据编制好的I/O分配表,进行相关CFC底层程序和SFC顺序功能图的编写。依据控制要求对程序进行调试运行,程序可行,产物率满足后即可进行保存固化。

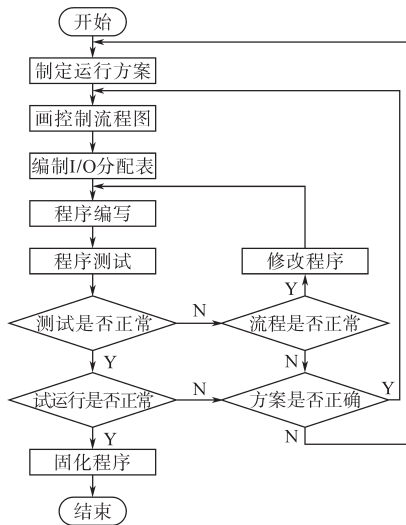


图8 系统的控制软件设计流程图  
Fig.8 The flow chart of system control software design

系统的SFC顺序工程设计如图图9所示。

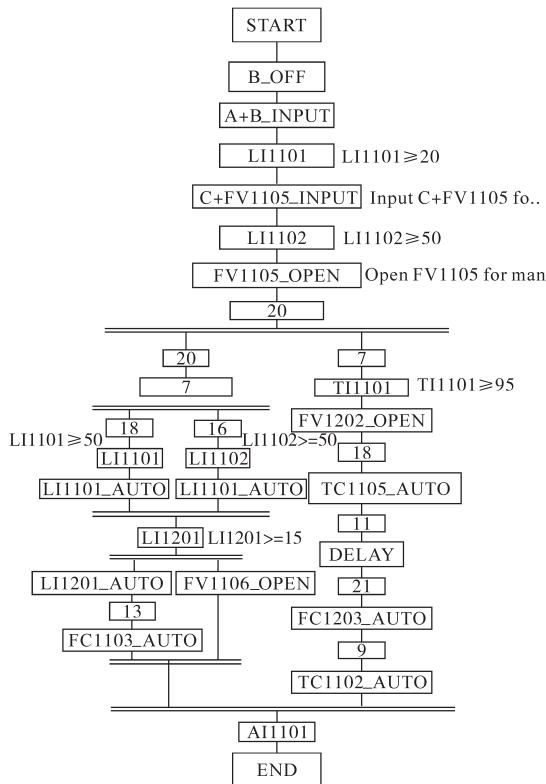


图9 系统的SFC顺序流程图  
Fig.9 SFC sequence flow chart of the system

### 3.3 控制效果

该化工连续反应控制系统,物料A,物料B按照设定的比例进入反应器,混合完全后加入催化剂充分反应,整体比例按照约9:3:1的进料比发生反应,在整个控制系统反应进行中,反应器内的温度需设定在20~110℃之间,控制系统中所涉及到的容器液位需维持在0~100%之间,不允许出现空罐和满罐的现象,闪蒸罐压力需维持在20~120 kPa之间,在闪蒸罐底部出口经过提纯后的生成物的浓度达到75%以上为合格产物。以上为整个控制系统所要求的控制指标。控制过程中使系统能稳定运行、能安全节能、高产持续输出合格产物,控制系统运行的最终控制曲线如图10所示。

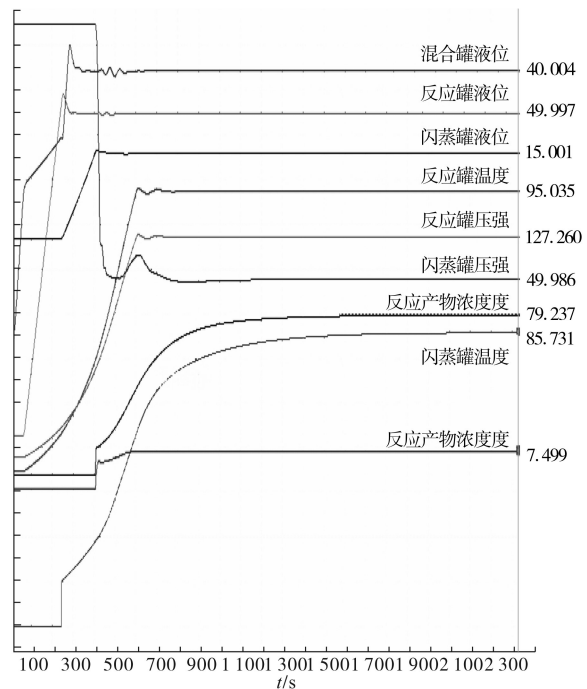


图10 控制系统的曲线图  
Fig.10 Curve diagram of control system

从图10可以看出,整个反应控制系统达到稳定后,混合罐液位LI1101、反应罐液位LI1102和闪蒸罐液位LI1201维持稳定,反应罐和闪蒸罐中的温度和压强也保持不变,最终得到的产物浓度为79.237%达标合格,并且以恒定不变的流量大小排出。整个控制系统最终能安全高效地保持稳定并持续输出合格产物。

在控制系统稳定的前提下,又进一步设计完成了西门子WINCC界面的设计与开发,实现了控制系统中控制变量液位、温度和压强的实时监控,监控界面如图11所示。

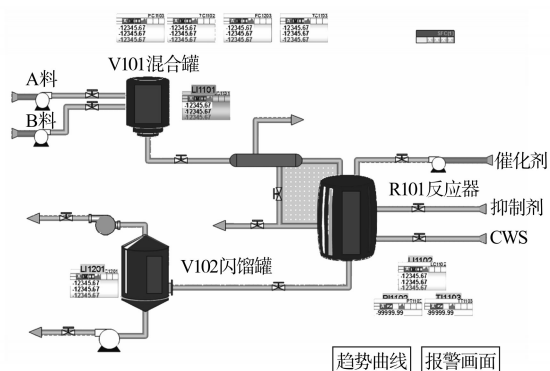


图11 WINCC监控界面的设计

Fig.11 Design of WINCC monitoring interface

## 4 结论

本系统在SMPT-1000仿真实训装置的基础上,仿真设计和实现了化工连续反应的过程控制系统,该系统采用集成软件PCS7控制。运用PID控制和相应的控制方式对本系统进行了全面设计和仿真实现,分别对反应物料的进料比、反应器内的温度和压强进行了全面的控制,再经过闪蒸罐的提纯后得到了合格的生成物,合理的在控制过程中利用冷却水对反应容器进行降温处理,

再利用升温后的冷却水对反应原料进行初步预热。克服了系统中一切的不良因素。在起初手动控制完成后转为全自动开车运行。通过对整个控制系统的分析,最终设计仿真和实现自动运行的过程中,体现了整个控制环节的安全性和稳定性,同时还具有节能和高产的特性,对实际生产具有很高的参考价值。

## 参考文献

- [1] 俞金寿. 工业过程先进控制[M]. 北京:中国石化出版社, 2002.
- [2] 夏晨,李朴. 反应釜设计及其温度控制系统[J]. 化工自动化及仪表, 2004, 31(1): 66-69.
- [3] 李恒. 基于PCS7的模糊PID控制在水泥过程控制系统中的应用研究[D]. 武汉:武汉理工大学, 2010.
- [4] 钱琳琳,朱播帆,何毅晨,等. 基于PCS7的聚合反应器系统控制策略仿真实现[J]. 自动化与仪表, 2017, 32(6): 51-56.
- [5] 高哲,李旭东,王珊,等. SMPT-1000实验平台的蒸发器控制系统设计[J]. 实验室研究与探索, 2016, 35(3): 100-104.
- [6] 马昕,孙洪程,张贝克,等. 过程控制工程[M]. 北京:高等教育出版社, 2006.

收稿日期:2019-09-05

修改稿日期:2019-09-25