

# 精馏塔现场总线控制系统的实现

The Implementation of Fieldbus Control System for Distillation Column

刘长龄 陈昌领 汤同奎 王豪 邵惠鹤

(上海交通大学自动化研究所,上海 200030)

关键词:现场总线控制系统 精馏塔 PID控制 自整定

LonWorks

Key words: Fieldbus control system Distillation column

PID control Self-tuning LonWorks

摘要 介绍了基于 Lonworks 现场总线技术和自整定 PID 控制设计所实现的精馏塔控制系统。逐一介绍控制系统总体结构、现场总线控制节点硬件和软件设计及高级控制和优化层的设计。还进行了控制系统特点分析。

Abstract The control system for distillation column is introduced. The system implemented by Lonworks fieldbus technology and self-tuning PID control. The system architecture, the hardware of fieldbus control node, and the design of software, advanced control and optimization layer are introduced one by one. The features of the control system are also analyzed.

精馏塔是化工生产过程中十分重要的设备,它的控制直接影响到工厂的产品质量、产量和能量消耗,因此精馏塔的自动控制一直受到人们的高度重视。精馏塔是一个多输入和多输出的对象,内在机理复杂,对控制作用的响应缓慢,参数间关联密切,因此控制要求高,难度大。

现场总线作为工厂数字通信网络的基础,沟通了生产过程级控制设备之间及其与高级控制和管理层之间的联系。它不仅是一个基础网络,而且还是一种开放式、新型全分散控制系统。本文结合“九五”重点科技攻关项目“现场总线网络控制系统的集成”以及 211 国家重点实验室建设,在国内首次实现了基于 LonWorks 现场总线技术和自整定 PID 控制的精馏塔控制系统。

## 1 UOP3CC 精馏塔结构及控制目标

UOP3CC 精馏塔实验装置共有 8 块塔板,可实现批量、连续操作,减压、共沸、抽取精馏。图 1 是 UOP3CC 精馏塔的原理图。精馏塔向外提供两个信号端口,包括 16 个模拟量输出,2 个模拟量输入,4 个开关量输出,2 个数字量输入。

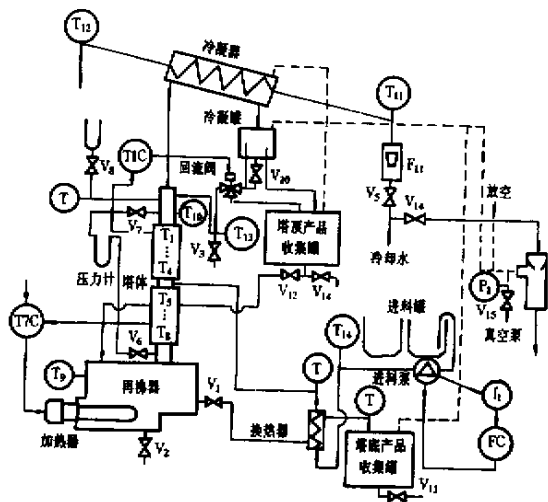


图 1 UOP3CC 精馏塔原理图

精馏塔的控制目标是在满足产品质量要求的前提下,使总的收益最大或总的成本最小,因此,精馏塔的控制要求应该从质量指标(产品纯度)、产品产量和能量消耗三个方面进行综合考虑。精馏塔的直接质量指标是产品纯度,但由于组分测量困难,过程滞后很大,反应缓慢,分析仪表的可靠性较差,因此一般选用温度或温差作为间接质量指标。

## 2 精馏塔现场总线控制系统的结构和功能

精馏塔现场总线控制系统分为基础控制层及高级控制和优化层,结构如图 2 所示。

在基础控制层,采用了自行开发的现场总线节点。根据精馏塔提供的信号,控制系统使用两个 LFB-AD8 模拟量输入节点采集 16 个模拟量、一个 LFB-DA4 模拟量输出节点为精馏塔提供两路模拟量输入,一个 LFB-DIO44 开关量输入输出节点实现开关量或数字量的处理,此外选用一个 LFB-DIO44 控制节点用于系统功能扩展。所有现场总线节点接到同一 LonWorks 网段上,各节点通过双绞线连接。该层包含 3 个控制回路,通

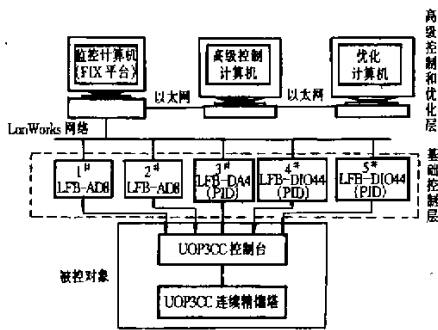


图 2 精馏塔现场总线控制系统结构图

过调节回流比控制温度  $T_1$ 、通过调节再沸器的加热功率控制温度  $T_7$ 、通过调节进料泵转速控制进料泵电机的转速,具体控制回路构成可参见图 1。现场总线节点的主要任务是采集信号、数字滤波、标度变换以及开关量控制、PID 控制和模糊控制等简单的控制算法。各个节点之间以及节点与监控计算机之间以网络变量的形式实现数据交换。

在高级控制和优化层,由一台监控计算机,多台高级控制计算机和优化计算机构成。监控计算机通过 PCNSS LonTalk 网卡连接到 LonWorks 网络,与其它计算机通过以太网相连。监控计算机主要功能包括:控制参数设定、PID 控制参数的整定、与现场总线节点的数据交换、显示、报警、操作、手/自动切换等。网络变量保存在监控计算机的实时数据库中,为高级控制和优化提供实时数据。高级控制计算机针对被控对象的动态特性,实现各种高级控制如多变量预测控制、推理控制、预测控制等。优化计算机的任务是过程优化,通过调整参数,使控制过程处于最优运行状态。

现场总线控制系统实现以下功能:

- ① 塔板温度、再沸器温度、塔顶温度、冷却水流入温度、冷却水流出温度、回流温度、进料温度、进料泵转速、再沸器平均功率等物理量的数据采集;
- ② 再沸器液位高低开关、电源开关、速度控制开关及回流控制开关状态的监视;
- ③ 根据控制要求调节再沸器的加热功率、回流比及进料泵转速;
- ④ 现场总线控制节点实现 PID 控制算法,系统通过高级控制和优化层实现 PID 自整定、参数设定、组态、显示、报警、操作等以及 MCC(多变量约束控制)在线优化、软测量等功能。

### 3 基础控制层的设计和实现

随着现场总线智能设备通用性的提高和成本的降

低,简单的控制任务迁移到现场微处理器中,即成为就地控制,基础控制层最基本的控制功能由驻留在现场总线控制节点微处理器中的 PID 等控制算法和控制逻辑实现。

基础控制层中,1# 控制节点的功能是采集 8 个塔板温度  $T_1 \sim T_8$ 。节点首先将输入模拟量转换成数字量,然后将该数字量标度变换成温度值,最后将温度值通过对应的网络变量送到控制网络,供其它节点或监控和优化计算机使用。在应用程序中设定采样周期定时器,实现周期性采样、更新输出网络变量。当采样周期到达,首先将多路开关切换到模拟通道 1(温度  $T_1$ ),然后启动 A/D 转换并读取转换结果,经标度变换后更新相应输出网络变量  $nv\_T1$ ,然后再将多路开关切换到模拟通道 2(温度  $T_2$ ),进行类似处理并更新输出网络变量  $nv\_T2$ ,依次完成 8 个模拟通道的数据采集和网络变量的更新。

2# 节点的功能是采集进料泵的转速、再沸器的加热功率、以及 6 个温度量等模拟量,经标度变换后以网络变量的形式送到 LonWorks 网段,供其它节点或监控计算机使用。

3# 节点的主要功能是实现自整定 PID 算法及根据两个输入网络变量来设定再沸器加热功率和进料泵转速。控制系统采用了位置型的离散 PID 控制算法。算法增加了积分分离限参数(由其它节点或监控计算机设置),当设定值与测量值之差的绝对值较大时,取消积分作用以提高控制的快速性;当设定值与测量值之差的绝对值较小时,加入积分作用以便消除余差,从而提高稳态控制精度。

4# 节点检测 4 路输入开关量,包括:再沸器液位高低、电源开关、速度控制开关、回流控制开关状态,并输出网络变量控制回流比。

### 4 高级控制和优化层的功能实现

高级控制和优化层的监控计算机实现信息采集与信息管理,它通过网络变量获得现场实时数据。监控计算机的主要功能如下:

- ① 与现场总线节点中的应用程序配合,实现控制回路的手/自动切换;
- ② 各个控制回路的 PID 参数自整定,采样周期、控制周期、正/反作用等的设定;
- ③ 显示各个变量的实时或历史数据曲线;
- ④ 与高级控制和优化层的高级控制计算机、优化计算机进行数据交换,保障基础控制层与高级控制和优化层的实时数据交换。

监控计算机通过 Fix 工控平台网络接口驱动程序 (LNI) 与 LonWorks 现场总线进行数据交换, 实现与现场总线节点之间的通信。除已捆绑的输入网络变量外, 所有 LonWorks 网络变量都可通过监控计算机来访问, 例如, PID 参数的设置、精馏塔工作状态的监控等。数据存储在过程数据库 (PDB) 之中, 为高级控制及优化软件提供实时输入、输出数据支持。

进行 PID 参数自整定时, 首先切换到手动状态, 人工给定控制量  $MV$ , 使过程输出达到某个稳定值。进入整定状态后, 程序根据选择的整定方法自动确定现场总线控制节点的继电实验。继电实验结束后, 过程对象的辨识数据由基础控制层的现场总线控制节点发送到监控计算机。监控计算机基于整定算法进行 PID 参数的计算, 计算结果通过现场总线下载到控制节点, 系统同时自动进入 PID 控制状态。在系统运行过程中, 当控制对象参数改变引起控制效果变差时, 对参数重新整定。PID 自整定软件框图如图 3 所示, 其中  $MV$  为手动给定的控制量,  $PV$  为过程的输出量。

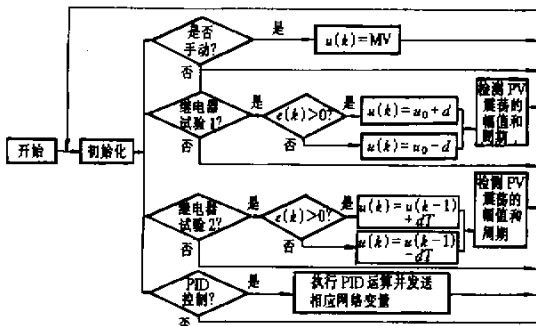


图 3 自整定 PID 软件框图

监控计算机主界面实时显示各过程变量和控制回路, 即 14 个温度变量、进料泵电机转速、再沸器的加热功率、 $T_1$  温度控制回路、 $T_7$  温度控制回路和进料泵转速控制回路。控制回路子界面用于 PID 参数设定、手/自动切换、实时曲线显示。控制回路参数设置界面用于显示修改三个控制回路的基本设置, 如报警限、操纵变量最大值、采样周期、控制周期、正/反作用、积分分离限、工程量数值范围等。PID 自整定界面用于继电实验和 PID 参数整定。历史曲线界面用于记录并显示过程的历史趋势。报警记录界面用于记录过程报警信息。

## 5 控制系统特点分析

基于 LonWorks 现场总线精馏塔控制系统与传统的基于 DCS 和 PLC 的控制系统相比, 优点在于:

① 成本低、精度高、可靠性好、功能强、使用方便、可构成分布式冗余系统, 最大限度地发挥现场总线节点设备的处理功能。

② 现场总线节点能够实现许多基本控制功能。大量的过程检测参数与控制信息就地采集、就地处理、就地使用, 控制功能基本分布到现场, 减轻了通信链路的负载, 提高了系统的实时性能、可靠性和灵活性。

③ 可与多层网络共享网络数据库, 保证控制系统的各层次之间信息交换的实时性和数据的一致性, 便于构成异构的, 支持多种平台和通信协议的综合自动化系统。

④ 采用统一的 LonWorks 现场总线标准, 系统具有开放性, 便于用户使用、操作、维修和扩展系统。

## 6 结束语

本文介绍的基于 LonWorks 现场总线的精馏塔控制系统, 实际运行表明该系统可靠性、实时性高, 控制性能好。精馏塔现场总线控制的设计与实现, 为现场总线的科研和教学提供良好的实验环境, 将更好地推动现场总线的工业应用。

### 参考文献

- 1 阳宪惠. 现场总线技术及其应用. 北京: 清华大学出版社, 1998
- 2 杨育红. LON 网络控制技术及应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 1999
- 3 邵惠鹤. 工业过程高级控制. 上海: 上海交通大学出版社, 1998
- 4 汤同奎. 隔离多通道 LONWORKS 数据采集节点的设计. 化工自动化及仪表, 1999, 26(2)
- 5 郑德忠, 汤同奎, 戴自祥, 等. 基于 LONWORKS 现场总线的 PID 控制节点的开发. 微机计算机信息, 1999, 15(5)
- 6 汤同奎, 郑之开, 邵惠鹤. 基于 LONWORKS 现场总线的 CIPS 计算机网络. 化工自动化及仪表, 1999, 26(6)
- 7 吴俊生, 邵惠鹤. 精馏设计、操作和控制. 北京: 中国石化出版社, 1997
- 8 汤同奎. 隔离多通道 LONWORKS 数据采集节点的设计. 化工自动化及仪表, 1999, 26(2)
- 9 庄建国, 等. 现场总线控制系统 (FCS). 化工自动化及仪表, 1998, 25(增刊): 1~5
- 10 Echelon Corporation. Neuron C 程序员指南. 第 4 版. 1995
- 11 王亚刚, 邵惠鹤. 一种基于灵敏度的自整定最优 PI 控制器. 自动化学报, 2000

“九五”国家重点科技攻关项目“现场总线网络控制系统的集成”、211 国家重点实验室建设资助。

收稿日期 2001-02-27。

第一作者刘长龄, 男, 1972 年生, 1995 年毕业于山东工业大学, 1998 年于山东工业大学获工学硕士, 现为上海交通大学自动化研究所博士研究生, 研究方向为现场总线、过程控制、处理器实时容错调度等。