

先进控制系列软件APC-Suite 在苯乙烯装置上的应用

Advanced Process Control Software Series

——APC-Suite and its Application in Styrene Unit

(浙江中控软件技术有限公司) 金晓明 刘炳杰

金晓明

男，浙江中控软件技术有限公司先进控制运营部经理，工业自动化专业博士，专长在炼油、石化和化工行业典型装置的先进控制（APC）系统开发和应用、流程工业生产执行系统（MES）开发和应用，曾经负责过数十个APC和MES项目，发表过大量相关论文。

摘要：本文介绍了先进控制系列软件APC-Suite在苯乙烯装置上的应用情况，在简要介绍工艺流程的基础上，重点分析了苯乙烯装置面临的过程控制问题，并给出相应的先进控制解决方案，工业应用效果表明先进控制技术是解决复杂工业过程控制问题不可缺少的工具。

关键词：先进控制；预测控制；软测量；苯乙烯装置

Abstract: APC-Suite, an advanced process control software series and its application in styrene unit are presented. After introducing process sheet of the styrene unit, the process control issue is analyzed in particular, then the advanced process control solution of the styrene unit is put forward. Industrial application results show that advanced process control technologies are indispensable tools for settling complex process control problems.

Key Words: Advanced Process Control; Predictive Control; Soft Sensor; Styrene Unit

是多变量预测控制和智能控制等。通过实施先进控制，可以明显改善过程动态控制的性能，显著减少过程变量和产品质量的波动幅度，并通过将生产装置推向优化条件下运行，实现并保持最优过程操作，最终达到提高装置运行的平稳性和安全性、改善产品质量的一致性，提高目标产品收率，增加装置处理量，降低运行成本、减少环境污染等目的。

预测控制是过程控制领域中应用最成功、最广泛的一种先进控制策略，有多种实现算法如模型算法控制、动态矩阵控制、广义预测控制、预测函数控制等，并且已形成相应的商品化软件。浙江中控软件技术有限公司从20世纪90年代开始研究先进控制技术，并成功推出了由ESP-iSYS-A先进控制平台、APC-Adcon高级多变量鲁棒预测控制软件、APC-Sensor智能软测量软件和APC-PFC预测函数控制软件组成的APC-Suite先进控制系列软件，现已成为国内领先的先进控制软件和服务供应商。

APC-Suite应用范围广，控制结构灵活，功能强大，技术成熟，其应用对象主要是炼油、石化、化工、电力、冶金等流程工业中的大型、复杂多变量工业过程。目前APC-Suite已经在炼油行业的常减压、催化裂化、连续重整、加氢裂化、延迟焦化、加氢精制和気分等核心装置，石化行业的芳烃抽提、PX、苯乙烯和多种聚合物生产等关键装置，化工行业的PTA、纯碱、硫酸、磷酸和氯碱等重要装置上得到了成功应用，为企业带来了显著的经济效益和社会效益。本文主要介绍先进控制系列软件APC-Suite在某石化企业苯乙烯装置上的应用情况。

2 工艺流程简介

该企业的苯乙烯装置主要由分子筛反应单元、乙苯精馏单元、脱氢反应单元和苯乙烯精馏单元等部分组成。

分子筛反应单元通过苯和乙烯在串联排列的第一烷基化反应器、第二烷基化反应器、烷基转移反应器中的烷基化反应

1 前言

先进控制（Advanced Process Control，简称APC）是对于那些优于常规PID控制的各种控制策略的统称，其典型代表

和二乙苯的烷基转移反应生成乙苯；反应产物送至预分馏塔从中回收部分未反应的苯；回流罐的气相在流量控制下进入脱非芳塔的底部，而塔釜出料送至苯干燥塔干燥后送入中间罐区。

乙苯精馏单元由苯回收塔、乙苯精馏塔和二乙苯精馏塔串联组成。来自中间罐区的烃化液进入苯回收塔，塔顶产物回送分子筛反应单元作为烷基化反应原料苯，塔釜的粗乙苯通过自压送至乙苯精馏塔，塔顶产物是精乙苯，部分送脱氢反应单元作为脱氢原料，部分送中间罐区；塔釜物料冷却后在自压下送至二乙苯精馏塔，塔顶产物是乙苯与二乙苯的混合物，送至中间罐区作为烷基转移反应原料，塔釜的多乙苯混合物经冷却后送中间罐区。

脱氢反应单元主要包括两段脱氢反应器、蒸汽过热炉、尾气压缩机、残油吸收塔、换热器/冷凝器和工艺冷凝液汽提塔等设备。反应生成的脱氢液加入阻聚剂后送中间罐区。蒸汽过热炉采用明火直接加热，所用燃料在正常情况下大部分为本装置脱氢的尾气，不足部分则由外管来的燃料气补充。

苯乙烯精馏单元由粗苯乙烯精馏塔、精苯乙烯精馏塔、乙苯回收塔、苯/甲苯塔和苯干燥塔等组成。粗苯乙烯精馏塔的进料为脱氢液，塔顶产物回收乙苯是乙苯回收塔的进料，塔底产物送至精苯乙烯精馏塔。精苯乙烯精馏塔其塔顶出料为苯乙烯产品，塔底产物为焦油。乙苯回收塔的塔顶产物为含有乙苯的苯与甲苯的混合物，作为苯/甲苯塔的进料，塔釜的回收乙苯送至中间罐区。苯/甲苯塔塔顶分离出的苯送至苯干燥塔，而塔釜的甲苯经换热后送至中间罐区。

3 过程控制问题分析

该套装置建成时间比较早，又历经多次工艺技术改造，设备老化严重，装置还存在着一些工艺瓶颈。装置的主要问题有：

- 催化剂失活情况严重，主要原因是原料不纯和脱水效果不好所致；
- 装置中脱氢单元气提塔处理量不足，成为装置的重要瓶颈；装置的干扰因素多，变量之间的耦合性强，对反应器和精馏塔的稳定操作影响大；
- 装置中部分生产单元的基础自动化状况较差，影响到正常的操作控制，同时也增大了实施先进控制的难度。

针对上述问题，苯乙烯装置实施先进控制系统有如下的需求：提高装置的自动化水平，在保证产品质量的前提下，通过“卡边”控制，稳定反应条件，提高高价值产品的收率，合理改变苯乙烯精馏排渣量等操作方式，达到提高装置收率、节约能耗、降低操作人员劳动强度，提高劳动生产率的目的。

4 先进控制解决方案

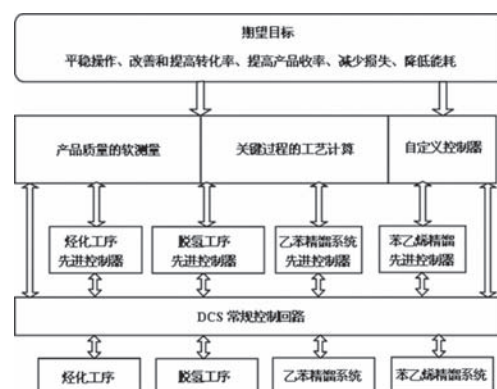
4.1 先进控制的目标

- 减少苯乙烯装置关键被控变量平均波动幅度30%以上，主要产品质量（化验分析）平均波动幅度20%以上；

- 在确保产品质量合格的前提下，使苯乙烯产品的收率提高0.3%以上；
- 提高能量利用率、减少高压蒸汽消耗和燃料消耗，使装置总能耗降低1%以上；
- 苯乙烯装置先进控制系统投运率平均大于95%。

4.2 先进控制方案

针对苯乙烯装置设计了一个大的控制器，并结合分子筛反应单元、乙苯精馏单元、脱氢反应单元和苯乙烯精馏单元的特点，将大控制器分解成分子筛反应、乙苯精馏、脱氢反应和苯乙烯精馏四个子控制器，从而实现了整个装置的先进控制。图1是苯乙烯装置先进控制系统整体结构框图。



每一个子控制器都包含了数量不等的被控变量（CV）、操纵变量（MV）和干扰变量（DV），并将关键质量指标的软测量结果纳入先进控制器的设计中。具体的变量列表如下：

- 分子筛反应子控制器由8个CV、9个MV和2个DV组成；
- 乙苯精馏子控制器由7个CV、9个MV和6个DV组成；
- 脱氢反应子控制器由5个CV、5个MV和2个DV组成；
- 苯乙烯精馏子控制器由5个CV、5个MV和5个DV组成。

工业应用效果

苯乙烯装置先进控制系统有效提高了装置的抗干扰能力，各主要工艺参数能自动跟踪调整，使精馏系统的操作更平稳，主要被控变量的标准差降低50%以上；在平稳操作的基础上，本装置的关键参数实现了“卡边”控制，带来了显著的经济效益。先进控制系统投用后，操作人员的劳动强度下降，得到了操作人员的认可和欢迎。

蒸汽过热炉A室蒸汽出口温度、7#塔灵敏板温度等工艺参数在先进控制投运前后的控制效果如图2所示（图中，横坐标单位为分钟，纵坐标单位为℃）。

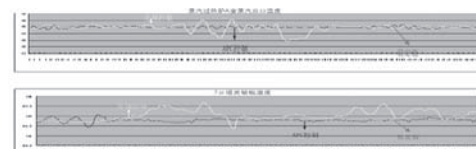


图2 苯乙烯装置先进控制系统投运前后的控制效果

（下转第168页）