

先进控制在精对苯二甲酸装置中的应用

陈筱金 张育青 张帆

(中国石化上海石油化工股份有限公司涤纶事业部, 上海 200540)

摘要: AspenTech 先进控制技术在上海石化股份有限公司精对苯二甲酸(PTA)装置得到了成功应用,使得生产更加安全平稳,产品质量稳定,各种消耗指标下降,生产能力提高。年经济效益在 1 300 万元以上,不到半年即可收回项目投资。

关键词: 精对苯二甲酸;先进过程控制;软测量仪表;最优控制

中图分类号: TQ021.8; TP273

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)S2-0194-03

Application of advanced process control technology in purified terephthalic acid unit

CHEN Xiao-jin, ZHANG Yu-qing, ZHANG Fan

(Polyester Division, SINOPEC Shanghai Petrochemical Company, Limited., Shanghai 200540, China)

Abstract: The AspenTech' advanced process control technology was applied in the purified terephthalic acid unit of SINOPEC Shanghai Petrochemical Co., Ltd. successfully. This technique make the unit operate smoothly, product quality stable, production capability improve, and various consumption targets reduce. The annual economic benefits of this project are above 13 million yuan, and the project payback period is less than six months.

Key words: purified terephthalic acid; advanced process control; soft sensor; optimal control

中国石化上海石化股份有限公司涤纶事业部于 2001 年 12 月与美国 AspenTech 公司签约,在精对苯二甲酸(PTA)装置应用其工业过程优化控制软件 DMCplus 和 AspenIQ,设计覆盖全装置各单元的先进过程控制器,利用先进过程控制(advanced process control, APC)技术进行优化控制,全面提升现有 PTA 装置的生产水平。项目于 2002 年 8 月顺利投用,取得了巨大的经济效益。

1 实施先进控制的必要性

PTA 装置自 1984 年投产以来,经过不断挖潜,在反应器、离心分离、干燥系统等主要设备未做改动的情况下,2001 年产量已达到了 29 万 t/a,超过设计负荷 25% 以上,但由此带来许多问题:

(1) 许多设备已经达到了约束边界,设备安全问题日益严重。反应系统取热能力不足,生产负荷难以继续提高;一些大型设备没有备机,甚至没有备件(空气压缩机是特制的),装置抗干扰能力很弱;在增加 1 组溶剂回收塔后,原回收塔的负荷仍然超过设计负荷的 20% 以上,导致分离效果下降,酸损失和共沸剂的跑料损失上升。

(2) 生产工艺和设备相对落后。由于受当时技术条件的限制,装置的工艺、设备、仪表与目前最先进的工艺相比存在一定的差距,主要表现在:工艺流

程长,溶剂和催化剂消耗高,缺少在线质量检测仪表,离心机、干燥机操作复杂等。

(3) 生产和产品质量波动较大。为避免对苯二甲酸(TA)颗粒堵塞管线和设备,需要经常冲洗;尾气吸收塔程序控制切换再生,每次切换塔时要有 ± 0.05 MPa 的压力波动,对空压机、塔内件安全影响很大;循环溶剂中醋酸浓度、催化剂浓度会随着补酸情况、催化剂加入速度等因素而变化,进而导致产品质量的波动。操作工只能依靠 4~8 h 一次的采样分析结果来调整工艺参数,存在严重的调节滞后问题,造成 TA 中对羧基苯甲醛(4-CBA)的质量分数波动范围大($2.6 \times 10^{-3} \sim 3.4 \times 10^{-3}$),废水中醋酸含量高,共沸剂、催化剂消耗大等问题。

(4) 工人劳动强度大。操作工当班期间不仅要处理各种各样的现场问题,还要控制产品质量和消耗指标,但仅为了维持溶剂循环系统的液位相对平稳花费了操作工一半的时间,根本没有时间和精力去考虑优化操作的问题。

PTA 的生产是最复杂的化工生产过程之一,几乎包含了所有类型的化工单元操作。具有反应体系复杂(气-液-固三相共存)、高温高压、易爆、强腐蚀、约束条件多、相互关系复杂、控制和优化难度大的特点。面对 PTA 生产这种干扰因素多、变量耦合关系复杂的系统,常规控制技术是无法实现优化操

作的,也正是多变量预估控制发挥优势之所在。

AspenTech 公司的先进控制软件——DMCplus 动态矩阵控制器是一种利用模型预测技术开发的集前馈、反馈和优化于一体的先进过程控制器,包括预测、优化与动态控制三大模块,适用于对具有强烈耦合关系、存在众多约束竞争的复杂多变量过程进行优化控制。

2 项目实施策略

先进控制项目的实施并不是一个简单的 DMC-plus 软件的安装应用,而是一个涉及了工艺技术原理应用、基础控制改善、集散控制系统(DCS)功能开发、网络集成、生产管理的全方位的系统工程。在对生产状况进行深入分析研究后,项目组制定了严谨可行的项目实施策略:以氧化单元作为项目实施重点,从改善基础控制着手,通过开发软测量仪表,实现多变量控制,提高装置生产稳定性,再利用先进过程控制器的优化功能将操作点逐步推向优化的约束边界。具体目标及策略详述如下。

2.1 优化基础控制

影响对二甲苯(PX)氧化反应的因素很多,主要有反应温度、压力、催化剂浓度、溶剂比、反应时间(反应器液位)等。所有常规控制回路都要达到调节灵敏、控制偏差小,以满足先进控制的要求,并且根据需要增加检测和控制仪表。

2.2 开发软测量仪表

在线质量分析仪表往往存在投资高、维护费用高、信息滞后且不连续等问题,利用机理模型和 AspenIQ 技术来开发关键质量参数的软测量仪表。

2.3 开发多变量控制器,提高装置运行平稳率

开发投用溶剂平衡控制器、氧化反应控制器、分馏塔控制器、PTA 精制控制器,实现多变量预估控制,在提高装置运行平稳率的同时,将操作工从繁重的简单劳动中解脱出来,专心于装置操作优化。

2.4 优化操作,增产降耗

(1)催化剂浓度。对溶剂平衡系统三级 9 台离心机、7 个溶液罐实施多变量控制器控制,从而有效地控制各罐液位平稳,减少催化剂浓度的波动,同时也减轻了操作工的劳动强度。利用开发的催化剂浓度软测量仪表,由多变量控制器进行闭环控制催化剂补充量。

(2)降低醋酸单耗。导致醋酸消耗的主要途径有 2 种:①氧化反应过程中醋酸的燃烧;②随溶剂回收塔废水排走。氧化工序的主要质量指标是粗 TA

的 4-CBA 含量,操作条件对醋酸燃烧的影响与对产品质量的影响作用恰恰相反。例如,提高反应温度能降低产品中 4-CBA 的含量,但同时又导致更多的醋酸燃烧。因此如能减小质量波动,实现 4-CBA 上限“卡边”控制,便能够减少醋酸燃烧。在醋酸塔方面,引入塔底酸浓度的预测软仪表,在满足约束条件下,提高分离精度,便可最大限度地减少醋酸和共沸剂的流失。

(3)适时推量。反应器顶部取热能力、反应器上部压差、防爆限制和产品质量是增加处理量的主要约束条件。常规操作时,操作人员只能设定某一 PX 进料,使得回流参考温度不超过安全值即可。这样,当外界环境温度下降,冷却能力有余地时,就会出现质量过剩,也错失提高产量的机会。多变量控制器的运算周期为 1 次/min,它将时刻寻找机会增加产量,尤其是半夜或阵雨过后,效果更为明显。

3 实施要点

3.1 改进基础控制

项目实施的第一步是对常规控制进行全面测试和优化,了解设备和仪表状况,更换添置必需的仪表。在此期间项目实施组发现并改进了一些常规控制问题,特别是改进了反应系统压力控制方案,使得尾气吸收塔切换时的压力波动幅度降低了 50%。

3.2 开发软仪表

在分析了由数据采集系统存储的,装置 1999~2001 年所有的工艺参数和化验数据后,从数百万个数据中筛选整理出典型数据,再利用机理模型和 AspenIQ 软件开发了相应的软仪表,对 PTA 产品主要质量指标 4-CBA 含量、光学密度指标 OD-340、脱水塔底醋酸浓度、循环醋酸浓度、催化剂浓度(包括 Co、Mn 和 Br)进行预测。实践证明,开发的软测量仪表的预测精度较高,可用于在线控制。

3.3 控制器设计

根据装置特点,设计了 3 个独立的多变量控制器,其划分及规模见表 1。

表 1 多变量控制器划分及规模

控制器名称	操作	被控	前馈	软仪
	变量数	变量数	变量数	表数量
溶剂平衡控制器	15	13	1	
TA 控制器				
氧化反应器子控制器	9	12	1	6
回收塔 A 子控制器	7	9	3	1
回收塔 B 子控制器	7	8	2	1
PTA 控制器	11	6	4	2

3.4 系统平台及软件结构

先进控制系统由一台 NT 服务器通过 ECGW3 与横河 CENTUM - XL DCS 联接而成,接口软件为 CIMIO for ECGW3,通信协议是 TCP/IP(见图 1)。

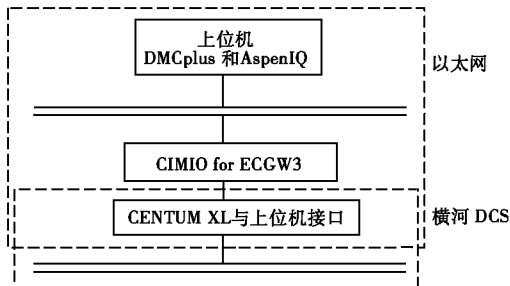


图 1 先进控制系统结构图

软件包括 AspenTech 公司的 DMCplus 和 AspenIQ,这 2 个软件包都含有离线 (off-line) 和在线 (on-line) 部分。离线部分提供建模组态和仿真工具,在线部分则是在线实施的核心模块。

4 先进控制技术的实施效果

(1)改善了装置基础控制,提高了控制水平,实

现了“卡边”控制。产品质量控制更加稳定,平均进料负荷增加了 3%,消耗降低了 5%,经济效益显著。

(2)利用非线性仿真模型、增益组合等技术,解决了氧化反应条件非线性的控制问题,提高了控制精度,增强了装置的抗干扰能力。

(3)带来新的控制理念,虽然操作更加方便,但对操作工提出了更高的要求,要求对工艺有进一步的认识,要用全面的、相互影响的观念分析判断各种控制问题。

(4)多变量控制器具有很好的鲁棒(适应)性,在装置改动较大时,控制器模型参数只做适当修正便能满足新工况下的条件,实现控制目标。

参考文献

- [1] 姚红江.[J].聚酯工业,2001,14(5):44-47.
- [2] 邢建良.[J].聚酯工业,2000,13(4):27-31.
- [3] 张春阳.[J].聚酯工业,1999,12(3):39-42.
- [4] 竺建敏.[J].石油炼制与化工,1995,26(7):42-47.
- [5] 席裕庚.预测控制[M].北京:国防工业出版社,1993.
- [6] 王一虹.程序控制[M].中国台北:扬智文化事业股份有限公司,1999.■

中国石化股份有限公司生产的石油产品

中国石化是中国最大的石油产品生产商,主要产品有车用汽油、轻柴油、煤油、航空煤油、化工轻油、润滑油、液化气、丙烯、石油沥青、石油焦、石蜡、溶剂油、炼油苯类等。

车用汽油牌号分为 90 号、93 号、95 号、97 号和 98 号等,产品产量在满足中国国内市场需要的同时,部分产品出口到韩国、澳大利亚、美国、菲律宾等国家。柴油分为轻柴油和城市车用柴油,牌号有 10 号、5 号、0 号、-10 号、-20 号、-35 号和 -50 号等。

3 号喷气燃料油,现执行国家 3 号喷气燃料标准的要求,参照美国 JetA-1、JP-8、英国 DERD2494 和国际航运协会(IATA)煤油型航空涡轮燃料质量标准制定。

润滑油产品,按用途分为车用润滑油、工业润滑油、合成润滑油脂、金属加工油。生产的各种机动车辆发动机用油、液压油、齿轮油得到了国内外众多公司或机构的认证(可)。

石油沥青分为重交道路石油沥青、改性沥青、道路石油沥青、乳化沥青、管道防腐沥青、电缆沥青、防水防潮石油沥青、橡胶沥青、油漆石油沥青、绝缘沥青等。

2003 年,面对多变的市场形势,中国石化优化原油资源配置,加强调度,确保炼油装置在高负荷下运转,全年加工原油 11626 万 t,同比增长 10.71%。2003 年炼油事业部经营收益为人民币 60 亿元,与 2002 年基本持平。