

基于先进控制技术的 PTA 装置产能优化

■ 杨开香 古勇

1. 引言

某 PTA 装置经过技术改造后,生产能力由原设计的 25 万吨/年升到目前的 32.5 万吨/年,增加了 30%。虽 PTA 装置空气压缩机也进行了相应扩容来适应负荷的增加,但高负荷条件下,其能力已达到极限。在夏天,环境气温较高的情况下,空压机的导叶挡板开度达到最大,失去自我调节能力,容易产生喘振。为了防止这种危害生产安全情况出现,必须通过降低生产负荷来减少空气需求量,维持装置正常运转。

在通常条件下,为了保证设备的正常运行,当空压机导叶挡板开度接近 85% 时,操作人员手动减少空气进料量和氧化反应器进料量等回路的设定值,防止压缩机产生喘振。这样的操作模式虽然可以在满足空气压缩机较平稳的运行,但是操作人员的技术水平、习惯不同,可能保留过大的操作安全裕度,装置负荷未能达到较优化的操作区域。

为了挖潜增效,充分利用空压机能力,提高装置产能,建立了氧化反应器的多变量预测控制器结合模糊专家规则,其中模糊专家规则根据空压机导板开度情况,调整氧化反应器进料量和空气量,多变量预测控制器的作用为负荷变化时,稳定氧化反应器反应条件。控制器投入运行后,夏季白天气温较高时,控制系统及时降低负荷,在夜晚气温降低后,及时提高装置负荷,控制空压机入口导叶挡板处于约束上限,最大程度地挖掘了装置潜力,取得了满意的效果。

2. 工艺流程分析

该 PTA 装置氧化单元采用 Amoco 公司专利工艺,醋酸溶剂、PX、催化剂混合料和压缩空气连续送入氧化反应器,在温度为 190℃ 左右,压力为 1.258Mpa 的反应条件下,PX 经过氧化生成对苯二甲酸(TA),反应放出的热量通过溶剂的蒸发移走。蒸发溶剂经冷凝后,其中一部分排出以控制反应器中的水分,其余部分返回反应器。反应后的物料经 3 个串联的结晶器降压、冷却到过滤条件。在第一结晶器中通入空气进行第二次氧化,结晶器出来的粗对苯二甲酸(CTA),经过过滤和干燥,送到精制单元进一步加工。

根据 PX 氧化成 TA 反应式可知,PX 与空气量之间消耗比例是较为固定的。在生产正常情况下,PTA 装置空压机的入口空气流量是由氧化反应负荷所需要的空气量决定。夏季空压机入口空气温度较高时,空气的密度将会变小,要满足氧化反应器高负荷的生产需要,就必须不断增加空压机的入口容积流量,当入口导叶挡板开到最大时,空压机产能也达到最大。

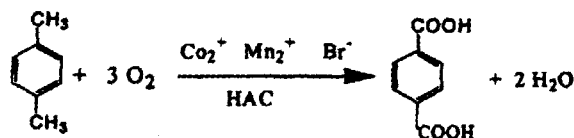


图 1 PX 生成 TA 反应式

在气温较高的情况下,当 PTA 装置满负荷生产时,空压机的入口容积流量容易达到最大,此时空压机的一级入口导叶挡板将会全开,若其背压一旦降

低,流量却无法继续提高,空压机失去了自我调节能力,容易产生喘振,此运行状况对空压机是十分有害的。出现这种情况后,必须降低 PTA 装置氧化反应器的负荷,减少反应器空气需求量,以使空压机负荷得到降低,保证机组安全运行。

由于 PTA 装置氧化反应器涉及到气、固、液三相,反应复杂。其负荷变化对反应过程影响巨大,将直接影响到反应器的停留时间、温度、压力、水含量,尾气氧含量、CO_x 含量,第一结晶器的液位、压力、空气进料、尾氧含量等关键过程变量。且上述变量具有滞后大,动态响应慢,相互之间耦合严重等特点,如果不及时有效控制调整,反应条件将无法维持在最佳状况,导致装置进入产品质量不稳,能耗物耗高的生产状态。

3. 空压机产能优化系统

空气压缩机产能优化目的是,夏季白天空气温较高时,空气密度低,降低装置生产负荷,减少空气需求量,避免空压机导叶挡板全开,失去调节能力,造成空压机联锁停车;夜晚空气气温下降,空压机能提供的空气量增加,及时提高装置负荷,在保证空压机组安全条件下,充分利用气温降低而增加的空压机产能。

由于影响空压机导叶挡板开度因素较多,包括空气温度、空气湿度、滤布情况等,没有很好的前馈变量。另外,空压机导板本身抖动比较剧烈,空压机导板信号波动较大,需要适当处理才能使用,因此其优化控制方案采用模糊规则控制,模拟操作人员的成熟操作经验。根据工艺经验,空压机导板开度大于

90%以上时,对空气流量的影响已经很小,很容易引起压缩机入口导叶挡板全开,因此要求空压机导板开度在 90%以下。同时,为了保持装置高负荷,要求控制导板开度尽可能接近 90%。

通过生产过程数据分析,空压机导板信号自身的波动周期为 7 分钟左右,波动幅度在正负 2.5 左右。空气流量阀门开度对空压机导板开度信号的静态增益在 2.7 左右。因此,每隔 7 分钟,计算空压机导板信号 PV07PV 的平均值,由平均值确定 PV07PV 的值落在高、中、低,由相邻两个平均值的差确定 PV07PV 的变化率落在快降、慢降、平稳、慢升、快升。其中位置设定为操作人员可调参数,调整幅值和速率限经过多次调试后,满足各方面需求的参数值。模糊规则如下表所示。

模糊规则控制器输出参数为氧化反应器进料量,目标在于通过升降负荷尽量卡在空压机导板信号高限附近。模糊控制器升降负荷时,同步增减空气流量阀门开度,从而改变空压机导板开度。

空压机导板开度信号实现优化控制后,夏季高温期手动调整负荷变为自动调整负荷,在 PTA 装置空压机的能力出现瓶颈时,空压机导板开度慢慢接近工艺安全的上限,体现了先进控制系统卡边控制,提高装置产能的特点。

PTA 装置氧化反应器工艺特点决定,改变装置负荷,其它相关变量也要及时调整。在最大化空压机产能的同时,必须保证氧化反应器反应条件的稳定控制,该功能由多变量预测控制器实现。多变量预测控制器首先通过对装置各变量的实验设计和阶跃测

表 1 空压机导板开度控制模糊规则表

模糊规则	高	中高	中	中低	低
快降	保持	加 200	加 300	加 600	加 800
慢降	减 200	保持	加 200	加 400	加 600
平稳	减 300	保持	保持	加 300	加 400
慢升	减 400	减 300	保持	加 200	加 200
快升	减 600	减 500	减 300	保持	保持

试,得到真实有效的过程数据,利用辨识软件进行得到过程变量之间的动态模型,然后根据 PTA 装置工艺特点、工艺指标要求选取了合理的参考轨迹、操作变量约束、被控变量约束及控制结构以得到控制器,最后利用多变量预测控制软件包的在线运行软件构成闭环的多变量预测控制系统运行。由于采用多变量预测控制,有效的克服 PTA 装置大滞后、大惯性、关联性强,使得反应器温度、压力、尾气含量、CO_x 含量等反应条件的控制平稳,保证了稳定的产品质量及较低的能耗物耗。

氧化反应器稳定控制采用浙江中控软件技术有限公司的 APC-Adcon 鲁棒多变量预测控制软件实现,而模糊控制策略在先进控制软件平台 ESP-iSYS-A 中用高级语言编程实现。先进控制器中的主要变量列表如表 2 所示。

表 2 多变量预测控制器变量列表

项目	仪表位号	说明
被控变量	AIC112	氧化反应器尾气氧含量
	AIC203	D201 尾气氧含量控制
	AIC204	性能指数
	AI110	反应尾气 CO ₂ 含量
	AI111	反应尾气 CO 含量
	TI112	反应器温度
	TIC201	第一结晶器温度
	TI135	E114 回流温度
	PI124	氧化反应器压力
操纵变量	FIC114	混合罐出口流量
	FIC120	氧化反应器空气进料流量
	PIC112	反应器尾气氧压力
	FIC134	反应器抽出水
	FIC202	第一结晶器空气进料量
	PIC201	第一结晶器压力
	FIC904	E114 冷凝水 D904 回流量

4. 空压机产能优化系统应用效果

空压机产能优化控制系统投运后,经过夏季高温期产能 72 小时对比考核测试,常规控制系统运行

数据采用 2004 年 6 月 30 日 8 时至 2004 年 7 月 3 日 8 时的数据,先进控制系统运行数据采用 2004 年 7 月 19 日 8 时至 2004 年 7 月 22 日 8 时的数据。数据显示,在先进控制下,空压机挡板的波动幅度降低,整体幅度上升,实现了空压机挡板卡边控制,平均开度从 81.44 增加到 86,氧化反应器进料量调整更加快速细致,其均值也高于常规控制。由于充分利用了空压机的负荷能力,氧化反应器进料尽可能保持高水平,从而充分利用了装置的生产潜力,提高产能。

根据厂方生产日报,得到了装置 PX 处理能力对比数据。

表 3 装置产能先控和常规 72 小时考核

日期统计	PX 当日消耗量	PV07 当日平均值
分析项	(吨)	(%)
2004-6-30	673	82.13
2004-7-1	672	81.40
2004-7-2	671	80.78
常规三日平均值	672	81.44
常规三日累积值	2016	
2004-7-19	688	85.60
2004-7-20	689	86.51
2004-7-21	685	85.98
先控三日平均值	687.3	86.03
先控三日累积值	2062	

装置产能按氧化反应器消耗 PX 增长推算:

产能增长率=(2062-2016)/2016*100%=2.28%

5. 结论

结合了模糊规则控制实现的空压机产能优化控制和多变量预测控制实现的氧化反应器稳定控制的先进控制系统在线控制运行结果表明,该先进控制系统能充分利用设备设计能力,在确保安全生产的同时,提高了装置产能。■

(作者单位系浙江中控软件技术有限公司)