

# 先进控制技术的应用探讨

黄春鹏 夏茂森

(中国石化齐鲁分公司信息技术管理部, 山东 淄博 255408)

**摘要:**描述了先进控制技术的发展现状以及在生产装置中的技术实现和具体实施规范。以常减压原油蒸馏装置为例,介绍了实施先进控制的主要控制器,即常压塔控制器、减压塔控制器及减压支路平衡控制器,给出了变量清单及其控制策略,对先进控制系统投用前后的效果进行了比较。结果表明,先进控制系统在生产控制中具有平稳操作,实现“卡边”控制,全馏程控制产品质量,提高高附加值产品的收率,降低装置能耗,挖掘生产装置潜力的能力。

**关键词:**流程工业;先进控制;控制器;常减压原油蒸馏装置

**中图分类号:**TP273

**文献标识码:**A

**文章编号:**0253-4320(2004)S2-0175-04

## Discussion on application of advanced control technology

HUANG Chun-peng, XIA Mao-sen

(Information Technology Manage Department, SINOPEC Qilu Company, Zibo 25408, China)

**Abstract:** The development status of advanced control technology realization and concrete implement standard in production plant are described. Taking an example of the advanced control application in the atmospheric and vacuum crude distillation unit in the SINOPEC Qilu Company, three controllers are built, including the one of atmospheric tower, the balanced one of the vacuum's spur track and the one of the vacuum tower. The variable listing and control strategy is given, and the effects of before and after using advanced control systems are compared. The results show that the application of the advanced control on refinery process units can stabilize production, block a side to control, improve the product quality through the full distillation, improve the yield of add-valued products, reduce the energy consumption, exploit further the potentialities of units.

**Key words:** process industry; advanced control; controller; atmospheric and vacuum crude distillation unit

先进控制技术是采用矩阵控制理论,通过装置阶跃测试,收集大量数据,进行模型辨识,建立多个变量之间的关联模型,将被控对象作为一个整体来处理,然后在比例-积分-微分(PID)单回路控制之上建立一个或几个大的控制器,同时兼顾到多个变量之间相互变化的能力和设备能力,经过预测、优化出调节量后在线传输到PID控制器的设定点上,对整个装置进行统一协调控制。根据经验,先进控制系统的实施可大大提高生产过程的平稳性,操作参数的波动方差可减少50%,投资回报率一般为6~12个月。先进控制系统可以使企业在更高水平上实现“安、稳、长、满、优”,进一步增强企业竞争力<sup>[1]</sup>。

## 1 先进控制技术的发展

先进控制是过程控制发展的一个重要阶段,也是过程控制的一项重要内容。过程控制的发展是与控制理论、仪表、计算机、网络以及有关学科(例如生产工艺机理研究)的发展紧密相关的。20世纪70年代末 Richalet 等提出的模型预测启发式控制

(MPHC)和动态矩阵控制(DMC),以及进一步发展的多变量预测控制系统的应用,使得过程控制达到了一个新水平。这一时期的控制理论在深度和广度上有了许多进展,比如鲁棒控制、非线性控制、预测控制在理论上都有重大突破<sup>[2]</sup>。

20世纪90年代以来,过程控制正以前所未有的速度和规模迅速发展,主要表现在如下几个方面:①传统的集散控制系统(DCS)正在走向国际统一标准的开放式系统,形成了具有国际标准的现场总线系统。②生产装置实施先进控制成为发展的主流。以多变量预测控制为代表的先进控制策略的提出并成功应用,使系统运行在最佳工况,实现了“卡边生产”。③过程优化受到普遍的关注。在连续过程中,整个生产过程存在着装置间的物流分配和能量平衡等一系列的问题,借助优化可使得整个生产过程获得较大的经济效益。目前在过程优化中,主要是稳态优化,采用静态模型进行离线或在线优化计算。④综合自动化系统建设。集常规控制、先进控制、过程优化、生产调度、企业管理、经营决策等功

能于一体的综合自动化成为当前过程控制发展的趋势<sup>[3]</sup>。

## 2 先进控制实施技术

目前在过程控制中,90%以上的控制回路都是PID类型,包括较高级的自整定PID控制、解耦PID控制等。在过程控制中有一些控制回路,将直接影响到产品质量和装置运行的可靠性与安全性。针对生产过程控制的要求,各种新型的控制策略和控制系统应运而生,如预测控制、质量控制、鲁棒控制、容错控制、基于人工智能技术的控制系统等。这里主要介绍目前过程控制中经常应用的几项先进控制技术。作为一个完整的先进控制系统,除实施平台之外,可能是一项或者几项控制技术的有机结合。

### 2.1 预测控制

预测控制的基本原理是模型预测、滚动优化和反馈校正,它需要过程的动态模型。因只强调模型能根据过程的历史信息和未来输入预测未来输出的功能,不重视模型的结构,故保持了基于优化的控制思想,但局限于有限时段。通过在线重复优化和反馈校正,及时校正建模误差及其他不确定性造成的影响,但对一般系统鲁棒性和稳定性较难分析。在控制方案实施上要求阶跃响应或脉冲响应试验,有的生产过程不能做到。基于对象输入输出数据离线或在线辨识的广义预测控制(GPC)克服了上述缺陷,并作为一种具有代表性的预测控制算法之一,被广泛应用于过程工业中。目前,GPC都是以线性系统作为被控对象,对于弱非线性系统,一般仍能取得较好的控制效果,但对一些强非线性系统,难以奏效。对此,非线性的广义预测控制研究最近已开始受到重视,这方面研究主要有:基于Hammerstein模型广义预测控制、基于Lmopdp模型广义预测控制、基于神经网络的非线性系统广义预测控制,还有基于双线性模型、多模型等多种方法。

### 2.2 鲁棒控制、容错控制与鲁棒容错控制

在过程建模中,由于对象的复杂性通常存在着建模误差,装置在实际运行中还会受到运行条件变化等多种不定性的影响。为此,控制系统的鲁棒性是普遍关注的问题。针对这一要求,许多学者就基于代数方法、区间矩阵稳定性、 $H_\infty$ 控制、状态空间法、传递函数法等对线性不确定系统的鲁棒控制分析与设计进行了深入的研究,并有一些工程应用。但是对非线性不确定系统的鲁棒控制研究尚有差距。近年来,综合利用故障检测、控制结构重组及硬

件冗余等方法的容错控制成为过程控制理论研究和应用的热点。

### 2.3 软测量与质量控制

在过程控制中,有些控制的过程变量,如聚合物平均相对分子量、精馏塔的塔顶和塔底产品的某些组分及许多产品质量的变量(如航空煤油干点、汽油干点、柴油倾点等),在现有技术条件下难以直接测量或不易快速测量,只能通过控制其他可测量变量间接地保证质量要求。采用软测量方法可以揭示这些不可测量与操作参数(如温度、压力、流量等)之间的关系。软测量的实质是通过离线或在线数据建立被测量参数与影响该参数的其他操作参数之间的数学模型。目前,建立软测量模型的主要方法是非线性回归、部分最小二乘回归、主元回归、神经网络等。

### 2.4 生产过程的智能控制

在过程工业中,由于过程机理复杂,运行工况变化较大,数学建模往往非常困难。在实际过程控制中,有些操作参数的调整在很大程度上依赖于人工的经验进行。自20世纪80年代中期以来,基于人工智能的控制方法已经逐渐受到了重视,专家控制、模糊控制在过程工业中也已经有了成功的应用,尤其基于人工智能与PID控制策略结合的智能PID控制器已经有产品商品化。基于人工神经网络的各种控制策略已得到广泛的研究,但是工程应用尚不够。模糊推理与神经网络融合构成的模糊神经控制器显示了很强的生命力。当前,智能控制研究和应用正处于一个兴旺的时期,许多仿真研究和应用实例表明智能控制在解决复杂系统方面极具潜力。

## 3 应用实例

下面以炼油常减压装置为例介绍实施先进控制的主要控制器、变量清单及其控制策略,并给出了先进控制系统投用前后的效果比较。

### 3.1 主要控制器、变量清单及其控制策略

常减压装置是原油分离的龙头装置,它将原油经电脱盐、原料预热、加热炉、常压塔、减压炉、减压塔等单元后分离为各种轻质产品或中间产品。常减压装置是一个物理变化的过程,因而也是实施先进控制较为简单的装置。常减压装置前后单元间的界限较为明显,联系也不够密切,因而既可以只用一个控制器对全装置实施先进控制,也可用多个控制器以单元为单位实施先进控制,如将常压塔或常压单元作为一个单元用一个控制器来控制,而对减压塔

或减压单元则采用另外一个控制器。

常减压装置实施先进控制的主要控制器变量清单如表1和表2所示。

表1 常压塔多变量控制器的变量清单

序号	变量位号	变量类型	变量描述
1	TIC002	CV	常顶温度
2	FI006	CV	常顶产品量
3	FI040	CV	常四线流量
4	ATOPD90	CV	常顶产品恩氏蒸馏 90%点
5	ASD1D90	CV	常一线产品恩氏蒸馏 90%点
6	ASD2FLASH	CV	常二线产品闪点
7	ASD2POUR	CV	常二线产品凝点
8	ASD3FLASH	CV	常三线产品闪点
9	ASD3POUR	CV	常三线产品凝点
10	ASD3T350	CV	常三线 350℃馏出量
11	APF2RAT	CV	常二线蒸汽与产品比
12	FIC005	MV	常顶回流
13	FIC009	MV	常一线抽出量
14	FIC010	MV	常二线抽出量
15	FIC011	MV	常三线抽出量
16	FIC007	MV	常一中流量
17	FIC008	MV	常二中流量
18	FIC026_2	MV	常二线汽提蒸汽量

表2 减压塔多变量控制器的变量清单

序号	变量位号	变量类型	变量描述
1	VSD1FLASH	CV	减一线产品闪点
2	VSD1T350	CV	减一线 350℃馏出量
3	VSD2D10	CV	减二线恩氏蒸馏 ASTM10%点
4	VSD2D90	CV	减二线恩氏蒸馏 ASTM90%点
5	VSD3CC	CV	减三线残炭
6	FI016	CV	减一线抽出量
7	FI018	CV	减二线抽出量
8	FI019	CV	减三线抽出量
9	FI017	CV	减四线抽出量
10	FI020	CV	减底渣油
11	VPF4RAT	CV	减四线量与进料比
12	FIC015OP	CV	减二中流量控制阀位
13	FIC015	MV	减二中流量
14	FIC037	MV	轻洗油流量
15	FIC013	MV	减顶回流
16	FIC014	MV	减一中流量
17	TIC006	MV	减压炉出口温度
18	VHTPBCT	DV	减压炉总进料

常压塔多变量控制器的控制策略为:选择顶温 TIC002 作为受控变量是为了防止顶温低于 105℃时的水蒸气凝结而导致设备腐蚀;控制常顶产品的 ATOPD90 点和常一线产品的 ASD1D90 是为了保证常顶产品和常一线产品干点质量指标;ASD2FLASH、ASD2POUR 为常二线产品的闪点(不低于 72℃)和凝点(不大于 -20℃);ASD3FLASH、ASD3POUR 分别为

常三线产品的闪点和凝点;选择常三线产品的 350℃馏出量 ASD3T350(不低于 68%)是为了保证常三线产品不至于太重;APF2RAT 为常二线汽提蒸汽与产品比值,选择它的目的是为了在保证常二线闪点的前提下,尽量减少汽提蒸汽量,以达到节能的目的;而 FI006 和 FI040 则作为优化变量参与鲁棒多变量预估控制技术(RMPCT)的优化计算;在操纵变量中,顶回流 FIC005、中段回流 FIC007 和 FIC008 调整全塔热负荷的合理分配;FIC009、FIC010 和 FIC011 作为常压一、二、三线的抽出量,可以在小范围内调整产品质量;而常二线汽提蒸汽 FIC026\_2 则用于调整常二线轻柴油的闪点。

减压塔多变量控制器的控制策略为:减一线有时为重柴油,因而必须控制其闪点 VSD1FLASH 不低于 72℃,并控制其 350℃馏出量 VSD1350 不低于 72%,以防止柴油过重;控制二线 10%点 VSD2D10 和 90%点 VSD2D90 是为了控制减二线产品的馏程,以保证其馏程较为稳定;而三线残炭 VSD3CC 是为了保证三线产品不至于过重而导致下游装置的催化剂失活;VPF4RAT 是减四线馏出量与进料的比值,控制该比值是为了保证减压装置具有足够的拔出率;控制 FIC015OP 是为了防止二中阀位饱和;而 FI016、FI018、FI019、FI017 和 FI020 则是作为优化变量参与 RMPCT 的优化计算;在操纵变量中,FIC015、FIC037、FIC013 和 FIC014 可调节全塔热负荷的合理分配,以控制全塔的操作;减压炉出口的温度 TIC006 则控制减压塔的原料气化比;减压总进料流量 VHTPBCT 作为干扰变量为减压 RMPCT 提供前馈信息。其他,如质量控制计算方法、支炉平衡、非线性液面控制不再一一介绍。

### 3.2 先进控制投用效果比较

常减压装置先进控制系统投用后,装置操作更加趋于安全、平稳;产品质量控制稳定,实现了“卡边”控制,对 3# 航空煤油生产、-10# 军用柴油生产实现了全馏程控制;提高了装置的处理量和收率,轻油收率提高 0.19%,总拔出率提高 0.22%;降低了装置能耗。该先进控制系统自投用以来,投用率达到了 95%以上,实施先进控制技术前后的效果比较如下:

(1) 在原油加工量一定的前提下,先进控制器能够根据约束条件,提高装置的轻油收率和总拔出率。

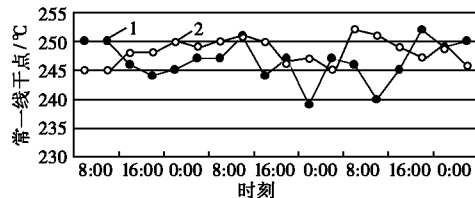
从表 3 中可以看出,投用先进控制系统后轻油收率提高 0.19%,总拔出率提高 0.22%。

表 3 常减压装置物料平衡

名称	未投用先进控制 (2天)		投用先进控制 (2天)		增幅/%
	质量/t	收率/%	质量/t	收率/%	
	入方				
原油	22642	100	22685	100	0.19
出方					
常顶汽油	656	2.90	556	2.45	-0.45
常一线	1123	4.96	1173	5.17	+0.21
常二线	1508	6.66	1549	6.83	+0.17
常三线	1574	6.95	1636	7.21	+0.26
减一线	1544	6.82	1499	6.61	-0.21
减三线	5004	22.10	5068	22.34	+0.24
减四和减渣	11169	49.33	11140	49.11	-0.22
加工损失	63	0.28	64	0.28	0.0
轻油收率		21.47		21.66	+0.19
总拔出率		50.39		50.61	+0.22

(2) 确保产品质量, 实现生产“卡边”操作

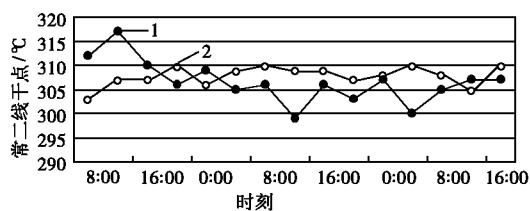
先进控制系统投用前, 常减压装置产品质量均合格, 但在先进控制系统投用后, 常压侧线产品质量实现了“卡边”控制, 同时产品质量控制更加稳定, 主要体现在常一线干点、常二线干点、常三线 350℃ 馏出量, 具体情况见图 1。



1—投用前; 2—投用后

图 1 先进控制系统投用前后常一线干点对比

从图 1 中看出, 在先进控制系统投用前, 常一线干点最高为 252℃, 最低为 240℃; 投用后, 常一线干点最高为 252℃, 最低为 245℃, 常一线干点控制更加稳定。



1—投用前; 2—投用后

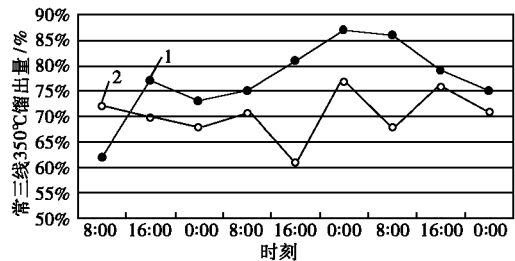
图 2 先进控制系统投用前后常二线干点对比

从图 2 中看出, 在先进控制系统投用前, 常二线

干点最高为 317℃, 最低为 299℃; 投用后, 常二线干点最高为 310℃, 最低为 303℃, 常一线干点控制更加稳定。同时实现了产品质量“卡边”控制(常二线军用柴油方案要求控制干点不大于 310℃)。

(3) 常三线 350℃ 馏出量实现精度控制

先进控制系统投用以来, 常三线 350℃ 馏出量基本控制在 70% 左右, 具体对比情况如图 3 所示。



1—投用前; 2—投用后

图 3 先进控制系统投用前后常三线 350℃ 馏出量

从图 3 中看出, 先进控制系统投用后常三线 350℃ 馏出量实现“卡边”控制, 且控制比较平稳; 投用前, 常三线 350℃ 馏出量控制在 62% ~ 87%, 投用后基本控制在 61% ~ 77%, 达到了精确控制的目的。

4 结语

在先进控制技术不断发展的同时, 先进控制系统的应用已逐渐得到了各企业和部门的广泛理解和认知, 并取得了可观的经济效益。但先进控制技术不是万能的, 它可以很好地稳定操作、实现“卡边”操作、降低能耗、提高装置的经济效益, 但这一切都是建立在装置设备合理改造的基础之上。现场一次仪表的运行状况对先进控制系统的控制效果至关重要。企业应首先花大力气提高设备运行水平, 改进工艺操作方法, 确保调节设备的执行力度, 并增加必要的分析设备, 提高分析水平。在具体实施过程中要深入现场, 找出瓶颈, 加强交流, 反复演练, 在已有基础上, 不断完善补充, 以提高实施质量, 尽快获得效益, 回收投资。

参考文献

[1] 王立行. 中国石化信息化建设与发展[A]. 见: 全国石油与化工信息化与自动化发展论文集[C]. 北京: 中国石油和化工自动化协会, 2003.  
 [2] 王树青. 先进控制技术及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.  
 [3] 俞金寿. 工业过程先进控制[M]. 北京: 中国石化出版社, 2002.  
 [4] 俞金寿. [J]. 化学世界, 2000, 41(增刊): 25-30. ■