

自抗扰控制器及其在聚丙烯反应釜 过程控制中的应用

金奎焕¹ 韩京清²

(1. 延边大学, 吉林 延吉 133002; 2. 中国科学院数学与系统科学研究院系统科学研究所, 北京 100080)

摘要:介绍一种新型实用控制器——自抗扰控制器及其在聚丙烯反应釜过程控制中的成功应用。自抗扰控制器是一个不依赖于被控对象模型, 而依靠过程误差来消除误差的非线性控制器。在聚丙烯反应釜过程控制中升温过程是控制的难点。自抗扰控制器解决了在升温过程中反应釜夹套的加热水和冷却水的自动切换, 从而成功地实现了升温过程的自动控制。

关键词:自抗扰控制器; 扩张状态观测器; 非线性反馈; 时间尺度; 聚丙烯反应釜; 过程控制

中图分类号: TQ02

文献标识码: A

文章编号: 0253-4320(2004)S2-0214-03

Active disturbance rejection controller and its application in process control of polypropylene reactor

JIN Kui-huan¹, HAN Jing-qing²

(1. Yanbian University, Yanji 133002, China; 2. Institute of Systems Science, Academy of Mathematics and Systems Science, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: A new practical controller, active disturbance rejection controller, and its application in the process control of the polypropylene reactor was presented. The process control of temperature-ascending of the polypropylene reactor is a difficult problem. The automatic switching between the heating water and the cooling water in the process is achieved to make a successful automatic control in the temperature-ascending. Moreover, the performance of stability and precision in the process of constant pressure is better than that of the original PID.

Key words: active disturbance rejection controller; extended state observer; nonlinear feedback; time scale; polypropylene reactor; process control

从 20 世纪 40 年代开始得到应用的 PID 调节器, 由于它不靠对象数学模型, 简单而易实现, 对一般的被控对象有较好的控制性能, 因此到现在一直得到广泛的应用。但是由于比较简单地处理目标值与实际行为之间的误差及其微分和积分, 因此在实际应用中有许多局限性, 尤其对于滞后较大、环境变化较大的被控对象, PID 调节器无法满足控制要求。而现代控制理论虽然对系统分析做出了很大贡献, 提高了人们对控制系统的认识, 但是由于对大量的工程被控对象给不出合适的数学模型, 它提出的控制方法很难得到实际应用。

自抗扰控制器 (ADRC) 是一个不依赖于被控对象模型, 而依靠过程误差来消除误差的非线性器件所组成^[1-3]。这个控制器具有很好的控制性能, 对于滞后很大、环境变化也很大的被控对象同样具有很好的控制品质^[4]。该控制器因为不靠对象的数学模型, 既简单又易实现, 所以具有很强的实用性。

聚丙烯反应釜升温过程要求加热和冷却的适时自动切换。因各种环境因素的不同, 其切换点也不同。因此, 如何适时地进行反应釜夹套的加热水和冷却水的切换, 是聚丙烯反应釜升温过程控制的关键。而自抗扰控制器能根据反应过程需求适时地实现加热水和冷却水的自动切换, 从而实现了聚丙烯反应釜升温过程的自动控制。

1 自抗扰控制器

自抗扰控制器是由跟踪微分器 (TD)、扩张状态观测器 (ESO)、状态变量误差的非线性反馈 (N.S.E.F) 和扰动补偿 3 部分所组成, 其结构如图 1 所示。

跟踪微分器对于设定值安排合适的过渡过程并给出其微分信号。扩张状态观测器用对象的输入和输出信号给出对象状态变量的估计和对象扰动总和作用的估计。用跟踪微分器的输出与扩张状态观测器给出的状态变量估计取误差, 形成状态变量误差。

这个状态变量误差的非线性反馈和扩张状态观测器对扰动总和作用的估计的补偿量一起组成控制量,形成具有自动抑制扰动能力的自抗扰控制器。

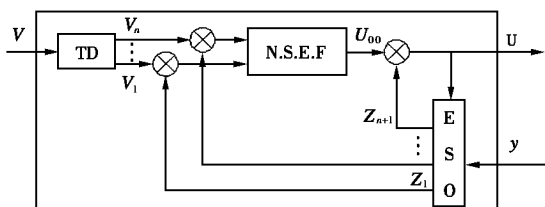


图1 自抗扰控制器的结构

自抗扰控制器根据对象的输入输出信号用扩张状态观测器实时估计扰动作用并给予补偿,从而去抑制扰动所引起的输出误差,“自抗扰控制器”由此得名。这里扰动是指包括内扰和外扰的总和作用。自抗扰控制器的优点是不必精确了解被控对象的动态特性(内扰),也无需测量外扰的作用,可以同时抑制所有扰动。

自抗扰控制技术引入了描述对象变化快慢的特征量“时间尺度”的概念。从自抗扰控制技术的角度,系统分类不再以线性或非线性、时变或时不变来划分,而是按系统的“时间尺度”来进行分类。该控制器有6个参数,其中扩张状态观测器有3个参数,根据对象的变化程度,用离线仿真方法确定相应的简单模型。如果需要,还可以进一步在线修正,其余3个参数则需要到现场在线整定,也就是说用户只需在线整定3个参数即可。这3个参数分别为:①速度因子,是与信号的噪声特性和过程的变化快慢要求相关;②阻尼因子,是与过程变化的阻尼特性有关;③补偿因子,是与扰动的估计和补偿相关。这3个参数都与系统本身的“时间尺度”有密切关系,可以根据工程要求用“时间尺度”的概念去整定这些参数。对同一类“时间尺度”的系统,比如温度变化范围相近的各种不同的温度控制系统,补偿因子可以相对固定,只需整定速度因子和阻尼因子2个参数即可,对那些过程时间没有特别要求的系统实际上只调整阻尼因子1个参数即可。

用自抗扰控制器组成的闭环控制系统品质对自抗扰控制器本身的参数变化具有很强的不敏感性,也就是说自抗扰控制器的参数可以在很大范围内变化。这是一个控制器性能不受参数扰动影响的鲁棒性,同时这个特性使得闭环控制系统的调试既简单又容易,这很有工程应用意义。

总之,自抗扰控制器具有以下特点:

独立于对象模型的非线性结构;能实现快速,无

超调,无静差控制;算法简单,参数适应范围广,参数物理意义明确,易整定参数;无需量测外扰而能消除其影响;不用区分线性,非线性,时变,时不变对象;易实现大时滞对象控制;解耦控制特别简单。

2 用自抗扰控制器实现聚丙烯反应釜全自动过程控制

2.1 聚丙烯反应釜工艺过程分析

聚丙烯反应釜的容积有4、8、12和15 m³不等。以12 m³为例,需要加8 m³米左右的聚丙烯反应所需的原料。这个反应釜外壁上有夹套,控制夹套的热、冷水量对反应釜内的原料进行加热或冷却,来控制聚丙烯反应过程。

首先把丙烯、催化剂和活化剂等聚丙烯反应所需原料按比例投入到反应釜。先把80~90℃的热水(或蒸汽)以调节阀的满量程输入到反应釜的夹套,随着反应釜内原料温度的升高,丙烯的聚合反应逐渐激烈起来。聚丙烯反应的被控参数经常采用釜压而不是釜温。这是因为釜压和釜温基本上成正比(除个别很短的段外),但压力比温度反应敏感,与安全生产直接相关。当釜压达到2.6 MPa左右时丙烯的聚合反应已经很激烈,釜温升得很快,需要把夹套里的热水切换成冷水进行冷却,以防止反应过于激烈。如果釜压过高,易出现危险,甚至引起爆炸。以后的控制是调节冷却水调节阀的开度来控制丙烯的聚合反应继续进行,直到釜压达到3.45 MPa(釜温达到75℃左右)。这就是聚丙烯反应釜升温过程。这个升压过程要求在25~30 min内釜压达到3.1 MPa(釜温达到70℃左右)。在这里夹套热、冷水的切换一定要适时,过早则反应差,甚至使反应致死,过迟会使反应过于激烈,以至出现危险。而这个切换点不是固定不变的,随着原料性能的差异、各种原料量的比例和夹套加热水温度的不同,其切换点也不同。因此如何适时地进行反应釜夹套热、冷水的切换,是聚丙烯反应釜升压过程控制的关键也是难点之一。

然后转入聚丙烯反应釜恒压过程,恒压过程所要求的控制精度为±0.1 MPa,整个恒压过程大约需要3 h左右。聚丙烯反应是剧烈的聚合反应,是一个非自衡过程。因此,控制不好会使动态偏差很大,会超过控制精度的要求。另外由于冷却水的压力和温度的变化较大,所带来的干扰接近于阶跃干扰。所以在用PID算法进行聚合反应的恒压过程控制时,一般采用以釜压为控制量的主调节器和以夹套冷却水的进口温度为控制量的副调节器的串级控

制。据了解,当使用 PID 进行恒压过程控制时,即使采用串级控制,其控制品质并不令人满意。

聚丙烯反应釜的最后一个过程是降压回收过程,一般采用手动控制,这里不再赘述。

2.2 用自抗扰控制器实现聚丙烯反应釜全自动过程控制

在聚丙烯反应过程控制中,如何实现升压过程中的加热水和冷却水的自动切换以及切换后怎样控制聚合反应速度在规定的时间内以光滑的反应曲线达到给定的釜压值,是聚丙烯反应整个过程控制中的关键,也是最难的一点。采用自抗扰控制器,可简单地实现聚丙烯反应釜整个反应过程的全自动控制。

采用自抗扰控制器时的调试过程如下:根据聚丙烯反应过程的变化快慢以及加热水和冷却水的经验切换点整定阻尼因子参数,使系统能够开始以加热水调节阀开度的满量程给夹套输入加热水,使聚合反应加快,釜压增加。当釜压增加速度加快到一定程度时,加热水调节阀的开度开始减小。这时如果釜压增加速度继续加快,则加热水调节阀的开度继续减小。根据釜压上升的速度,闭环系统适时地关闭加热水调节阀,打开冷却水调节阀,实现加热水和冷却水的切换。在切换后,控制冷却水调节阀的开度来控制釜压的增加速度,使釜压在规定的时间内达到所要求的釜压值。根据釜压的升压曲线(或釜温的升温曲线)和升压过程时间要求,可以调整控制器的速度因子参数,使其符合升压过程时间要求。调整控制器的阻尼因子参数,可以随意地提前或推迟加热水和冷却水的切换点。整个升压过程的调试,只要把这 2 个参数反复调整几次即可。一旦整定好这 2 个参数,即使各种原料的性能及其比例的变化或加热水温度的变化,控制器都能够自动地改变加热水和冷却水的切换点,使反应曲线和反应时间满足升压过程工艺要求。这实在是自抗扰控制器的神奇功能。

升压过程所要达到的釜压为 3.1 MPa,离恒压过程的给定值还有 0.35 MPa。为了快速、无超调、无

静差地达到给定的恒压值,为了增强闭环系统在恒压过程中的抗干扰能力,减小动态偏差,提高控制精度,有必要在升压过程的参数值的基础上调整一下阻尼因子参数,过程的快速性、控制精度、动态偏差和无超调等控制性能会更好。

实际上聚丙烯反应釜控制系统存在着各种各样的干扰,尤其是冷却水温度的大变化给系统带来的干扰最为严重,这个干扰会给聚丙烯反应釜恒温过程控制带来很大的动态偏差。该系统原来用 PID 实现了恒温过程控制,从它的恒温曲线中可以看出其动态偏差很大。用自抗扰控制器实现了聚丙烯反应釜恒温过程控制。由于自抗扰控制器抗干扰能力很强,并且能够自动地消除干扰,所以也不用去量测干扰,也不必另加其他抗干扰措施。

用自抗扰控制器控制聚丙烯反应釜升压过程和恒压过程的反应曲线中,升压过程的反应曲线很光滑,而恒压过程的反应曲线尽管有一些动态偏差,但都在控制精度范围内,而且总体上是很平滑的。

采用自抗扰控制器的闭环控制系统调试的关键是“时间尺度”的概念,也就是说要了解 and 掌握对象变化快慢的特征,根据这个特征整定控制器的参数。至于对象的其他特性,包括滞后特性、外部干扰等,都不需要精确测量,这是自抗扰控制器的重要特点。

3 结语

自抗扰控制器由于不依赖于对象模型,在实用性方面优于现代控制理论的各种控制算法。自抗扰控制器在控制品质方面,控制器参数整定简单进而整个闭环系统的调试既简单又容易,抗干扰能力强,对大时滞、负荷变化大的对象都能实现高品质的控制,各方面都优于 PID。

参考文献

- [1] 韩京清.[J].自动化学报,1994,20(4):487-490.
- [2] 韩京清.[J].控制与决策,1995,10(1):85-88.
- [3] 韩京清.[J].控制与决策,1995,10(3):221-225.
- [4] 韩京清,张文革.[J].控制与决策,1999,14(4):354-358. ■

《现代化工》期刊评价指标

据中国科技信息研究所报告,2002年《现代化工》期刊的总被引频次为463,总排名第242位,化工类排名第5位;影响因子0.318,总排名第509位,化工类排名第14位。

2001年《现代化工》期刊的总被引频次为376,总排名第234位,化工类排名第6位;影响因子0.405,总排名第272位,化工类排名第9位。

2000年总被引频次为262,化工类排名第9位;影响因子0.222,化工类排名第21位。