

乙醇精馏塔浮压控制节能系统的仿真研究

石惠卿¹, 徐文艳², 王 豪¹

(1. 上海交通大学 自动化系, 上海 200030; 2. 上海师范大学 生命与环境科学学院, 上海 200234)

摘要: 乙醇精馏塔的浮压控制方法是一种新的节能控制方法, 在保持原有工艺不变的情况下, 增加一个具有纯积分作用的阀位控制器(VPC)。若积分时间常数足够大, VPC 缓慢地调整压力控制器 PC 的设定值, 使压力缓慢降低, 同时减少再沸器的加热量, 使温度变化与压力变化同步, 从而保证产品的质量和产量不受浮压的影响, 减少整个精馏系统所需的热量, 达到节能目的。

关键词: 精馏塔; 节能; 浮压控制; 仿真

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3932(2006)05-0026-03

1 引言

精馏塔是化工过程中的重要装置, 其能耗大, 能量利用率低。已有不少学者从不同角度对精馏过程节能问题进行了大量的研究, 并提出了许多节能方案, 如内部热耦合精馏塔、降低回流比方法、精馏塔总过程热集成方法等。本文以精馏塔分离乙醇、水为对象研究浮压控制节能方法。

2 精馏塔浮压控制节能原理

节能依据: 精馏塔的塔顶温度直接影响塔顶产品的质量和产量, 影响精馏分离的效果。通常精馏塔塔顶都有压力检测或控制系统, 其目的就是为了在相应压力情况下, 通过控制精馏塔内一些点的温度来达到规定的分离要求。一般来说, 相对挥发度随塔压的降低而增加, 而这是有利于分离的, 即: 可以用较少的能量(加热蒸汽)来获得同样的效果。此时需要的加热蒸汽量越少, 系统所需的能量就越少, 从而达到节能效果。精馏塔的浮压控制示意图如图 1 所示。

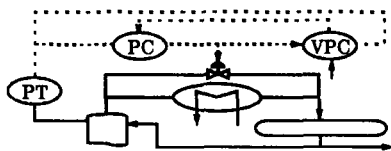


图 1 精馏塔的浮压控制示意图

实施方案: 该控制方案的主要特点是在原压力控制系统 PCS 的基础上, 增加一个具有纯积分作用的阀位控制器(VPC), 其作用是缓慢地调整压力控制器 PC 的设定值, 从而在以下两方面改善塔的操作: ①不管冷凝器的冷剂情况如何变化(如遇暴雨、降温等), VPC 可以保护塔压免受其突然变化的影响。塔压只是缓慢变化, 最后仍浮动到冷剂可能提

供的最低压力点。这样可以避免压力的突然降低而可能导致的“液泛”, 保证了精馏塔的正常操作; ②为保证冷凝器总在最大负荷下操作, 阀门应开启到最大开度。考虑到要有一定的控制余量, 阀门开度可设定在 90% 或更大一些。

由图 1 看到, 塔压控制器 PC 的设定值由阀位控制器 VPC 慢慢地改变, 其输出不仅用于控制冷却剂(如水, 空气)调节阀的开度, 同时还作为 VPC 的输入, 与 VPC 的设定值(通常为 90% 或 95%, 使冷剂接近全开的位置, 尽量降低塔压)进行比较, 并将其输出, 作为 PC 的设定值。

下面简单分析一下该系统的动作过程: 当冷剂量突增(如暴雨)时, 引起压力下降, PC 控制器动作把调节阀关小, 其开度小于 90% 或 95%, 控制作用使压力迅速回升到原来给定值, 这时过程受压力定值控制, 过渡过程很快就能完成。然后, 阀位控制器 VPC 缓慢降低压力调节器的设定值, 直到阀门开度等于 90% 或 95%, 塔压由原来的值缓慢地降低到一个新的稳态值, 从而实现了浮压操作。

具体应用背景: 对那些已经设置了塔压控制的精馏塔, 可以直接采用本节能控制方案, 而不需要做任何“硬”的改动; 对那些只设置了塔压检测而未加控制的精馏塔, 所要做的唯一的“硬”的改动是在冷却剂管道上设置一个调节阀。

在本控制系统中, 因压力控制器调节速度快于温度调节速度, 当压力变化时, 要保证温度的变化能够跟上压力的变化, 只要由纯积分作用构成的阀位调节器其积分时间常数足够大, 就可以保证塔压变化趋于静态的缓慢变化过程, 即保证了系统工作的

稳定性。在此基础上,对温度进行控制,以保证变压情况下,产品质量和产量不变。

3 乙醇精馏塔的浮压控制

乙醇和水的相对挥发度受塔压影响很大,如使塔压降低可使相对挥发度有很大提高,从而大大提高塔的分选效果,同时减少回流量和塔底加热蒸汽量。严密的压力控制是用温度控制质量的必要条件。

3.1 浮动塔压控制方案

本文中,精馏塔浮动塔压控制方案与常规的恒定塔压控制不同的是增加一个阀位调节器 VPC,通过 VPC 去调整压力调节器的设定值。采用阀位调节器的控制系统的特点是用一个阀位调节器来迫使调节阀的开度最终处于某一设定的开度,而这一调整过程通常是很缓慢的。因此这类控制系统通常有一个快响应的调节回路,以及一个慢响应的调节回路。当精馏塔采用分凝操作时,它的压力浮动控制方案如图 2 所示。为了使塔在浮动压力下操作,PC 调节器的设定值必须按塔顶冷凝液温度的函数关系来确定。冷凝液温度低说明冷凝情况良好,塔压设定值还可以低一些,从而获得更好的节能效果。对大多数精馏过程而言,塔压是靠限制冷凝器的传热量来工作的。如果允许冷凝器运行不受约束,那么塔压和温度将降低到热负荷和冷却剂温度允许达到的程度。对大多数混合物来说,相对挥发度随温度和压力的降低而改善,因而达到同样的分离度所需的能量亦相应地减少。这一基本原则同样适用于乙醇、水混合物的分离过程。实际工况表明,在其它工况条件不变的情况下,仅昼夜环境温度变化之差所引起的塔压浮动的变化可达近 0.2 MPa,由于这种压力的变化是昼夜周期性的,变化十分缓慢,不会破坏塔内的汽液相平衡状态。因此该塔完全可以实现浮动塔压控制。

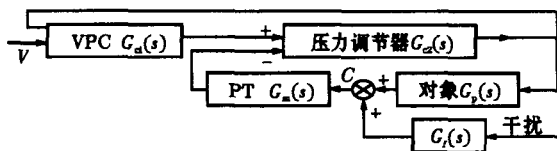


图 2 浮压控制系统方框图

3.2 压力控制子系统

在精馏系统中,压力变化快于温度变化。本系统中,只要阀位控制器的纯积分时间常数 T_i 取的足够大,使压力变化足够缓,可以近似认为压力变化与温度变化趋于同步,达到相对静态同步。压力控制方框图如图 3 所示。塔压在 P_c 调节器的作用下不会受其环境突然变化的影响,正常状态下由于阀位

调节器 VPC 的作用使阀位保持不变,因而塔压缓慢变化,最后浮动变化到冷却剂可能提供的最低压力为止,实现了塔压浮动控制。增加 VPC 控制器时,比较 T_i 取不同时间常数的压力曲线,得出当 $T_i = 50$ 时,压力能够实现缓慢变化。其仿真曲线见图 4。

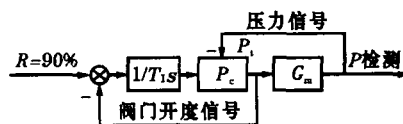


图 3 压力控制方框图

注: $R = 90\%$ 是系统设定值,即阀门的开度由原来的 10% 打开至 90%; $1/T_i s$ ——纯积分环节,即阀门位置调节器 VPC; P_c ——压力检测信号; G_m ——控制对象; P_c ——压力调节器

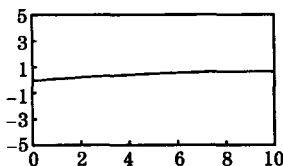


图 4 安装 VPC 后压力变化曲线图 ($T_i = 50$)

3.3 温度与压力关系曲线拟合

用最小二乘法对仿真数据进行曲线拟合,拟合曲线如图 5。压力缓慢降低时温度-压力拟合曲线为: $y = -0.0108x^2 + 1.2346x + 22.0069$ 。

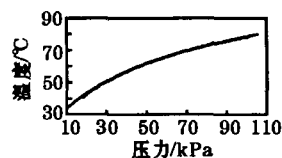


图 5 压力降低时温度-压力 3 阶拟合曲线

3.4 温度控制子系统

精馏塔的温度控制主要是通过调节再沸器的加热量。对再沸器和冷凝器的控制是通过调节精馏塔的能量输入和输出。这两者的控制必须有适当的响应,使进入塔的能量扰动减到最小,又有高的能量效率。如果不具备前两点特性,将导致塔的不稳定,不具备第三点特性将浪费能量。温度控制方框图见图 6。

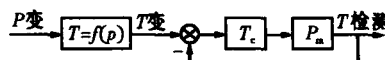


图 6 温度控制方框图

注: T_c ——温度控制器; P_m ——控制对象

在压力降低的情况下,温度控制仿真图如图 7 所示。

由仿真曲线可以得出,当 $T_i = 50$ 时,温度变化缓慢,说明温度能够跟上压力的变化,即在压力缓慢

变化的情况下,能够保证生产的稳定和产品的质量。若 $T_1 = 50$, 温度不能跟上压力的变化,则重新调整 T_1 值,直到温度能够跟上压力的变化。在本文中, $T_1 = 50$ 时,能够达到控制要求。说明:若 T_1 取得足够好,则 $T = f(p) \approx 1$, 表明压力变化足够缓慢,温度变化能够跟上压力变化,二者变化趋于同步,能够保证生产要求。

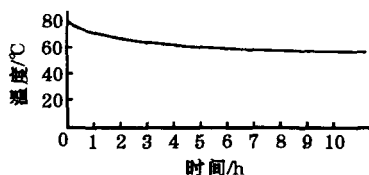


图 7 温度 - 时间曲线图

4 节能评估

在常压情况下,塔顶温度为 78.3 °C。根据不同分离度下的仿真数据,在减压情况下,产品纯度与可降至最低温度的关系如表 1 所示。

表 1 产品纯度与最低温度关系

产品纯度	可降至最低温度/°C
98%	64.446 89
96%	64.716 74
93%	65.126 82
91%	65.396 88
85%	66.257 06

假设整个进行热交换的过程中无热量损失,热量公式: $Q = cm\Delta t$ (其中, c 为比热容, m 为质量, Δt 为温度升高值)。乙醇的流量为 200 kg/h,乙醇的比热容取 $2470 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,水的比热容取 $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ 。在常压情况下,把 75% 的乙醇溶液从 20 °C 加热到 78.3 °C,精馏塔工作一小时需要热量为:

$$Q = cm\Delta t \\ = 2470 \times 200 \times 75\% \times 98\% \times (78.3 - 20) + 4180 \times 200$$

$$\times 25\% \times 2\% \times (78.3 - 20) \\ = 21412 \text{ (kJ)}$$

同理在浮压情况下,对应不同的分离度,系统能耗如表 2 所示。一年以 365 天计算,采用浮压控制后,年节能率为:(常压耗能量 - 浮压耗能量)/常压耗能 $\times 100\%$ 。可得表 3 所示的不同分离度下的年节能率。

表 2 不同分离度下的系统能耗

塔顶产品纯度	能耗 / $\text{kJ} \cdot \text{h}^{-1}$
98%	163 24
96%	164 23
93%	165 74
91%	166 72
85%	169 88

表 3 产品纯度与节能率关系

塔顶产品纯度	节能率
98%	21.05%
96%	20.6%
93%	19.8%
91%	19.36%
85%	17.8%

由表 3 可知,压力控制系统中,当纯积分时间常数 $T_1 = 50$ 时,系统能够稳定地工作,且产品纯度在 98% 时,节能率最大。

5 小结

在压力控制系统中,用 VPC 控制压力缓慢变化,仿真求出温度随压力缓慢变化而变化的纯积分时间常数 T_1 。用 MATLAB 仿真系统,控制曲线变化平稳,结果表明积分时间常数取 50 时能够保证生产的稳定和产品的质量和产量不变。

在不同的分离度下,对本系统的节能率进行分析。得出,分离度为 98% 时系统节能率最大,大约为 21%。由此说明,节能效果显著。

Simulation Study on Floating Pressure Control Energy Saving System of Ethanol Rectification Tower

SHI Hui-qing¹, XU Wen-yan², WANG Hao¹

(1. Department of Automation, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China;

2. Life & Environment School, Shanghai Normal University, Shanghai 200234, China)

Abstract: Maintaining the original technics of ethanol rectification tower, a valve position controller (VPC) is added to the system. If the integration time is long enough, the VPC can adjust the setting point value of the PC controller slowly, so the pressure will get down slowly. Meanwhile by decreasing the heat of the re-boiler, the temperature change is synchronized with the pressure change. The quality and the quantity of the product at the top of the tower can be ensured, which are not influenced by floating pressure control. Namely, the heating needed by the whole rectified system will be cutting down, the energy can be saved.

Key words: rectification tower; energy saving; floating pressure control; simulation