

# 再生塔能耗影响因素分析与节能改造方案设计

陈 玮

中石化广元天然气净化有限公司 四川 广元 628000

**摘 要:** 在现代化学工业中,再生塔扮演者至关重要的角色,特别是在脱硫脱碳过程中。然而再生塔的能耗一直是困扰许多化工企业的难题。再生塔能耗影响因素众多,包括温度场、压力场浓度分布以及溶剂类型等。为了降低再生能耗,我们需要从多方面入手,优化温度控制系统、改进压力调节系统、优化溶剂浓度控制,引入高效节能设备以及实施热回收和再利用方案。通过这些措施的实施,我们可以有效地降低再生塔的能耗,提高化工企业的节能减排效果。再生塔作为化工、能源等领域的重要设备,其能耗问题一直是行业关注的焦点。本文深入分析了再生塔能耗的影响因素,包括操作参数、设备结构等方面,并针对这些因素提出了具体的节能改造方案设计。期望为降低再生塔能耗、提高能源利用效率提供科学依据和实践指导。

**关键词:** 再生塔; 能耗影响因素; 节能改造方案; 能源利用效率

## 1 引言

在化工生产、能源回收与利用等众多工业领域中,再生塔发挥着至关重要的作用。它主要用于实现物质的分离、提纯以及溶剂或吸附剂的再生等过程,是保障生产流程连续稳定运行的关键设备。然而,再生塔在运行过程中往往伴随着较高的能耗,这不仅增加了企业的生产成本,还与当前全球倡导的节能减排、绿色发展理念相悖。随着能源问题的日益突出和环保要求的不断提高,降低再生塔能耗已成为行业内亟待解决的重要课题。深入研究再生塔能耗的影响因素,并据此设计科学合理的节能改造方案,对于提高企业的经济效益、减少能源消耗、降低环境污染具有重要意义。

## 2 再生塔能耗影响因素分析

### 2.1 操作参数对能耗的影响

#### 2.1.1 温度

温度是影响再生塔能耗的关键操作参数之一。在再生塔中,温度的高低直接影响着物质的相平衡和化学反应速率。一般来说,提高操作温度可以加快物质的扩散速度和反应速率,有利于溶剂或吸附剂的再生。然而,过高的温度会导致能源的大量消耗,同时可能引发一些副反应,影响产品质量。相反,如果操作温度过低,再生过程可能无法充分进行,导致再生后的溶剂或吸附剂性能下降,需要增加循环量或处理次数,从而间接增加了能耗。

#### 2.1.2 压力

压力对再生塔能耗的影响主要体现在两个方面。一方面,压力的变化会影响物质的沸点和相平衡关系。在减压再生操作中,降低系统压力可以使物质的沸点降

低,从而在较低的温度下实现溶剂或吸附剂的再生,减少能源消耗。但减压操作需要额外的真空设备,增加了设备投资和运行成本。另一方面,压力的波动会影响塔内的气液传质效率,导致能耗增加。当压力不稳定时,塔内的气液接触效果变差,传质阻力增大,为了达到相同的再生效果,需要消耗更多的能量来维持塔内的操作条件。

#### 2.1.3 流量

流量包括进料流量、回流流量和蒸汽流量等。进料流量的变化会直接影响再生塔的处理能力和塔内的物料平衡。如果进料流量过大,塔内的负荷增加,需要更多的能量来维持塔内的操作温度和压力,以保证再生效果。同时,过大的流量可能导致塔内气液分布不均,降低传质效率,增加能耗。回流流量的大小对塔内的温度分布和产品纯度有重要影响<sup>[1]</sup>。适当的回流流量可以提高塔内的分离效率,但过大的回流流量会增加塔顶冷凝器的负荷,消耗更多的冷却水或制冷剂,从而增加能耗。蒸汽流量是再生塔热源的主要提供者,蒸汽流量的增加可以提高塔内的温度,加快再生速度,但也会直接导致能源消耗的增加。

## 2.2 设备结构对能耗的影响

### 2.2.1 塔板类型与结构

塔板是再生塔内实现气液传质的关键部件,其类型和结构对塔内的传质效率和能耗有重要影响。常见的塔板类型有泡罩塔板、筛板塔板、浮阀塔板等。不同类型的塔板具有不同的特点,例如泡罩塔板操作弹性大,但塔板阻力较大,能耗较高;筛板塔板结构简单,造价低,但操作弹性较小,在处理易发泡物料时易出现液泛

现象；浮阀塔板综合了泡罩塔板和筛板塔板的优点，具有较高的传质效率和较低的塔板阻力，能耗相对较低。此外，塔板的开孔率、降液管结构等也会影响塔内的气液流动和传质效果，进而影响能耗。合理的塔板设计可以提高气液接触面积，降低塔板阻力，减少能量损失。

### 2.2.2 填料类型与装填方式

在填料塔再生塔中，填料的类型和装填方式对塔内的传质性能和能耗起着决定性作用。常见的填料有散装填料和规整填料两大类。散装填料如拉西环、鲍尔环等，具有结构简单、价格低廉的优点，但传质效率相对较低，且填料层阻力较大，能耗较高。规整填料如波纹板填料、丝网填料等，具有比表面积大、传质效率高、压降低等优点，能够有效降低再生塔的能耗。填料的装填方式也会影响其性能，装填不均匀会导致气液分布不均，降低传质效率，增加能耗。因此，选择合适的填料类型并采用科学的装填方式是降低再生塔能耗的重要手段。

### 2.2.3 塔体保温与散热

再生塔在运行过程中会产生大量的热量，如果塔体保温措施不到位，热量会通过塔壁散失到周围环境中，造成能源浪费。良好的塔体保温可以减少热量损失，降低加热负荷，从而降低能耗。同时，塔体的散热情况也会影响塔内的温度分布和操作稳定性。如果塔体散热不均匀，会导致塔内局部温度过高或过低，影响再生效果，增加能耗。因此，加强塔体的保温设计和散热管理是降低再生塔能耗的重要环节。

## 3 节能改造方案设计

### 3.1 操作参数优化方案

#### 3.1.1 温度优化控制策略

**建立热力学与动力学模型：**通过建立再生塔的热力学模型和动力学模型，结合实际生产数据，对不同操作条件下的能耗进行模拟分析。热力学模型可以用于计算不同温度、压力下物质的相平衡关系，确定再生过程的热力学可行性。动力学模型可以描述再生反应的速率和机理，分析温度对反应速率的影响。例如，利用 Aspen Plus 等化工流程模拟软件，输入再生塔的工艺参数、物料性质等信息，对不同温度下的再生效果和能耗进行模拟计算，确定最佳的操作温度范围。

**先进温度控制系统应用：**在实际生产中，采用先进的温度控制系统，实时监测塔内各点的温度，并根据设定的温度曲线自动调节加热介质的流量。该系统可以采用分布式控制系统（DCS）或可编程逻辑控制器（PLC）实现。在塔内不同高度设置多个温度传感器，将温度信号传输到控制系统。控制系统根据预设的温度曲线和实

际温度值，通过调节加热蒸汽调节阀的开度，精确控制加热蒸汽的流量，确保塔内温度稳定在最佳范围内<sup>[2]</sup>。同时，加强塔内温度分布的均匀性控制，通过优化塔内件设计和调整操作参数，如改变进料位置、增加液体分布器等，减少局部过热或过冷现象，提高能源利用效率。

#### 3.1.2 压力优化调节措施

**操作压力选择依据：**根据再生塔的工艺要求和物料性质，合理选择操作压力。对于可以采用减压再生的工艺，通过优化真空系统的设计和运行参数，提高真空度，降低再生温度，减少能源消耗。在选择操作压力时，需要考虑物质的沸点、相平衡关系以及设备的承受能力等因素。例如，通过实验测定不同压力下物质的沸点和分离效果，结合经济分析，确定最佳的操作压力。

**压力稳定控制方法：**对于需要加压操作的再生塔，通过优化压缩机或泵的运行效率，降低能耗。同时，加强对系统压力的稳定控制，采用压力传感器和自动调节阀组成的闭环控制系统，实时监测和调节系统压力。压力传感器安装在系统的关键位置，将压力信号传输到控制器。控制器根据设定的压力值和实际压力值，通过调节自动调节阀的开度，精确控制系统的压力，避免压力波动对能耗和产品质量的影响。

#### 3.1.3 流量优化匹配方案

**物料与能量平衡计算：**通过物料平衡和能量平衡计算，确定合理的进料流量、回流流量和蒸汽流量。物料平衡计算可以根据原料的组成和产品的质量要求，确定各物流的流量和组成。能量平衡计算可以考虑加热、冷却、压缩等过程中的能量输入和输出，确定蒸汽、冷却水等能源介质的流量<sup>[3]</sup>。例如，利用质量守恒和能量守恒定律，建立再生塔的物料平衡和能量平衡方程，通过求解方程组，得到最佳的流量参数。

**流量自动调节系统：**在实际生产中，采用流量控制系统，根据生产负荷的变化自动调节各流体的流量，确保塔内的物料平衡和能量平衡。流量控制系统可以采用质量流量计或体积流量计测量流量，将流量信号传输到控制器。控制器根据设定的流量值和实际流量值，通过调节流量调节阀的开度，实现流量的精确控制。同时，优化回流比，通过实验和模拟分析，确定最佳的回流比范围，在保证产品质量的前提下，尽量降低回流流量，减少塔顶冷凝器的负荷和能耗。对于蒸汽流量，采用蒸汽流量调节阀和温度、压力传感器组成的控制系统，根据塔内的温度和压力变化实时调节蒸汽流量，实现能源的精准供应。

### 3.2 设备结构改造方案

### 3.2.1 塔板改造与优化措施

**塔板类型选择与更换：**对于采用塔板结构的再生塔，根据塔内物料的性质和操作条件，选择合适的塔板类型进行改造。例如，将泡罩塔板或筛板塔板改造为浮阀塔板，以提高传质效率和降低塔板阻力。在改造前，需要对塔内的物料性质、操作压力、温度等参数进行详细分析，结合不同塔板类型的特点和适用范围，进行技术经济比较，选择最适合的塔板类型。

**塔板结构参数优化：**对塔板的开孔率、降液管结构等进行优化设计，改善气液流动状况，减少能量损失。在优化开孔率时，可以通过实验或模拟计算，确定在保证传质效率的前提下，使塔板阻力最小的开孔率值<sup>[4]</sup>。对于降液管结构，可以调整降液管的截面积、高度和形状等参数，使液体在塔板上的停留时间合理，气液分离效果良好。例如，采用新型的降液管结构，如倾斜式降液管或多通道降液管，可以降低液体流速，减少液泛的可能性，同时提高气液传质效率。

### 3.2.2 填料升级与装填改进方案

**填料类型升级：**对于填料塔再生塔，将传统的散装填料升级为规整填料，如波纹板填料或丝网填料，以提高传质效率和降低压降。在选择规整填料时，需要考虑填料的比表面积、空隙率、通量等性能参数，以及与塔内物料的相容性。例如，对于处理腐蚀性物料的再生塔，应选择耐腐蚀的规整填料，如塑料波纹板填料或陶瓷丝网填料。

**填料装填工艺优化：**在填料装填过程中，采用科学的装填方法，确保填料层均匀、紧密，避免出现架桥、空隙等现象。可以采用分布器均匀布料，将填料均匀地分布在塔内。在装填过程中，分层装填并适当振实，使填料之间紧密接触。同时，控制填料的装填高度，根据物料平衡和传质要求，确定合理的填料层高度，在保证再生效果的前提下，尽量降低填料层高度，减少塔体投资和能耗。

### 3.2.3 加强塔体保温与散热管理措施

**高效保温材料应用：**对再生塔的塔体进行全面的保温改造，采用高效的保温材料，如岩棉、玻璃棉等，对塔壁进行包裹，减少热量散失。在选择保温材料时，需要考虑材料的导热系数、耐温性能、防火性能等因素。

例如，对于高温再生塔，应选择耐高温的保温材料，如硅酸铝纤维毡等。

**散热管理与均匀性控制：**加强对塔体散热的管理，合理设置散热装置，如散热片、冷却水套等，确保塔体温度分布均匀。对于高温部位，采用特殊的散热措施，如强制通风冷却或水冷等方式，降低局部温度，提高设备的运行稳定性和能源利用效率。同时，安装温度监测装置，实时监测塔体各部位的温度，根据温度变化及时调整散热措施，保证塔体温度在合理范围内。

### 结语

再生塔能耗影响因素分析与节能改造方案设计是一项具有重要意义的工作。通过深入研究和实践探索，能够不断降低再生塔能耗，提高能源利用效率，为实现节能减排目标和促进工业可持续发展做出贡献。本文通过对再生塔能耗影响因素的深入分析，提出了一系列节能改造方案设计。研究表明，再生塔能耗受到操作参数、设备结构等多种因素的影响，通过合理优化操作参数、改造设备结构，可以显著降低再生塔的能耗，提高能源利用效率，同时保证产品质量和产量，为企业带来显著的经济效益和环境效益。随着科技的不断进步和工业的持续发展，再生塔节能技术将不断创新和完善。未来，可以进一步加强对再生塔能耗机理的研究，开发更加高效的节能技术和设备，如新型塔内件、智能控制系统等。同时，加强节能改造方案的集成化和系统化研究，综合考虑各种因素，实现再生塔能耗的整体优化。此外，还应加强节能改造技术的推广应用，提高行业的整体节能水平，推动化工、能源等行业的绿色可持续发展。

### 参考文献

- [1]赵东亚,王家凤,田群宏,等.MEA法碳捕集工艺再生塔能耗优化[J].中国石油大学学报(自然科学版),2021,45(02):181-186.
- [2]王海萍,张燕鹏,赵嘉琳,等.天然气输送用乙二醇的再生工艺及模拟优化[J].中外能源,2023,28(11):95-100.
- [3]喻灿,关庆林.基于工艺优化的MDEA装置胺液再生塔底系统腐蚀防控策略[J].石油化工腐蚀与防护,2024,41(06):41-44.
- [4]黄雪琪.溶剂再生塔异常波动分析与对策[J].石油石化绿色低碳,2024,9(02):61-64.