

立式热虹吸再沸器的软件计算与结果分析

李春生

(江苏海企技术工程股份有限公司 江苏南京 210019)

摘要: 本文主要探讨立式热虹吸再沸器的软件模拟与结果对比分析,通过对再沸器设计原理、结构特点、热工性能进行分析,并分别利用 Aspen EDR 和 HTRI 软件进行模拟与优化设计,同时对两种软件的计算结果进行对比分析,以期工程设计提供有益参考。

关键词: 立式热虹吸再沸器; HTRI; EDR; 结果分析

中图分类号: TQ053.2

文献标志码: A

在石油化工领域立式热虹吸再沸器应用广泛,它具有传热效率高、结构紧凑、加热停留时间短、调节灵活和管程不宜结构等优点。其设计涉及到多个因素,包括热效率、传热性能、结构稳定性等,因此在再沸器的设计和校核时, Aspen EDR 和 HTRI 软件被广泛使用,但两款软件的计算过程和计算结果却有较大差异。本文主要介绍立式热虹吸再沸器的设计原理、计算要点以及计算结果分析。

1. 立式热虹吸再沸器简介

1.1 设计原理

立式热虹吸再沸器主要基于热虹吸效应和自然循环原理,其设计目标是通过利用加热介质将精馏塔釜的工艺介质部分气化,而后将汽液混合物送回精馏塔,为精馏的分离过程提供能量。

立式热虹吸再沸器通过加热介质在壳程中对工艺流体进行加热,使工艺流体在管程内汽化。由于管程上部存在部分气相且温度较高,管程内部自下至上形成了密度差,底部密度高而顶部密度低。这种密度差产生的推动力,即热虹吸效应,使得塔釜介质不断被虹吸入再沸器,无需外部提供动力即可完成循环。

在设计过程中,需要考虑多种因素以确保再沸器的稳定运行。这些因素包括结构参数、气化率、进出口管路阻力降、安装高度、管内流型以及热通量等。

1.2 换热管内的流动与传热过程

立式热虹吸再沸器的垂直管内为气液两相流模型,换热管内的流动和传热过程依次可分为液相流、泡状流、塞状流、环状流、雾状流,如图 1 所示。

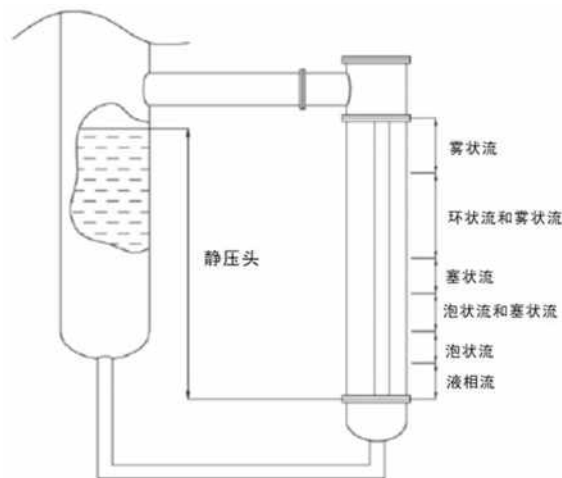


图 1 立式热虹吸再沸器垂直管内的流动状况

液相流: 即过冷段。在换热管的底部,由于静压头的存在,工艺介质的操作压力将高于其饱和压力,因此底部介质仍保持液相状态。该阶段的传热方式为液相对流传热。

泡状流: 工艺介质在换热管内的逐渐上升,其操作压力将逐渐接近该换热管壁温所对应的饱和蒸汽压。在此过程中,工艺介质在立管表面开始被气化,产生气泡。传热方式以泡核沸腾传热为主。

塞状流: 伴随着大量的气泡产生,产生液体块与气体块交替上升的现象。该阶段中,传热系数会迅速上升,传热方式转变为核沸腾和两相对流传热。

环状流: 随着气化量的增加,气体流速大于液相流速,液体被压迫在垂直管壁上,并沿管道内壁流动,即环状流动。这是相变发生的主要阶段,传热系数达到最大。传热方式为两相对流传热,是立管换热最理想的沸腾状态。

雾状流: 气化量继续增加,液体变成小液滴并与气体混合形成雾状。传热方式转变为气相对流换热,传热系数会显著降低。在再沸器的设计中,应尽量避免出现雾状流。

立式热虹吸再沸器换热管内的流动及传热过程是一个复杂且连续的过程,涉及多种流动形态和传热方式的转变,理解和掌握这些过程对于优化再沸器的设计和提高传热效率具有重要意义。

1.3 关键工艺参数

静压头: 是指蒸馏塔釜的静液位与再沸器出口管线中两相流之间的密度差所形成的推动力,是推动塔釜液体不断被“虹吸”入再沸器,实现自然循环的关键因素。静压头的大小直接影响到立式热虹吸再沸器的运行效果和稳定性。如果静压头过小,可能无法提供足够的推动力,导致循环不畅或无法形成有效的虹吸效应;如果静压头过大,虽然可以确保循环的顺畅,但可能会增加设备的能耗和运行成本。

汽化率: 与再沸器静压头、安装尺寸、热负荷相关,静压头越大,汽化率越小。是再沸器设计中的一个非常重要参数,一般取 10~30%。实际生产中,塔釜会产生液位波动,静压头也会随之变化。因此,再沸器设计时,应选择合适的安装高度,使其在操作工况波动时,均能满足要求。

压力降: 主要分为入口管压力降、管程压力降、出口管压力降三部分。在软件模拟的报告中会体现再沸器的总压力降,以及进口管和出口管压力降数据,设计中应平衡各部分压力降占总压力降的比例,

以使再沸器运行平稳。设计中通常采用,入口管压力降占总压降的20%~30%,出口管压力降占总压降的10%~20%,一般不超过35%。出口管气相的速度压头 p_{v2} 应大于 100kg/m.s^2 ,否则会导致气相速率太低而不能维持再沸器的流体循环。管程压力降可通过调整进出口管径实现,使各部分压降占比在最佳范围,进而确定再沸器的进

出口管径。

2. 设计实例与计算结果分析

本文以甲醇两塔串联精馏工艺(真空精馏和常压精馏)的立式热虹吸再沸器工程实例进行设计,再沸器进料工艺参数见表1。

表1 再沸器的工艺设计参数

	E-01				E-02			
	壳程		管程		壳程		管程	
	进口	出口	进口	出口	进口	出口	进口	出口
介质	蒸汽	冷凝水	塔釜液	塔釜汽	甲醇	甲醇	甲醇溶液	甲醇溶液
流量 kg/h	11970	11970	54565	54565	19650	19650	64000	64000
温度 $^{\circ}\text{C}$	175.4	175.4	121.6	121.9	80.2	80.2	66.5	68.9
压力 Kpa g	800	794	111	95	80	70	-30	-38
相态	G	L	L	L/G	G	L	L	L/G
汽化分率	1	0	0	0.202	1	0	0	0.198
污垢热阻 $\text{m}^2.\text{k/w}$	0.000086		0.000174		0.000174		0.00080174	
热负荷 KW	6747				5866			

选用上述工艺参数,使用 HTRI 和 aspen EDR 软件进行再沸器核算,两种软件在计算过程中,均采用以下要求:

- (1) 再沸器上管板与塔釜液位齐平。
- (2) 调整合适的管程进出口管径,控制进出口管道的阻力降满足以下要求:入口管阻力降占总压降的20%~30%,出口管阻力降占总压降的10%~20%。
- (3) 出口管气相的速度压头 p_{v2} 大于 100kg/m.s^2 。
- (4) 均采用 BEM 型换热器,换热管材质为 S30408, $\phi 25 \times 1.5\text{mm}$,长度为 3m 或 3.5m,管间距为 32mm,管子排列方式选择 30° ,选用单弓形折流板。

2.1 HTRI 核算再沸器结果分析

通过对比再沸器计算结果和 HTRI 设计手册,使用 HTRI 软件核算再沸器时,会有以下的显著特点:

- (1) 给定初始气化率, HTRI 软件程序会根据推动力需求核算实际气化率,并根据推动力的大小,适当调高或调低气化率。
- (2) 计算的热负荷与工艺条件中规定的热负荷相一致,但总传热系数相对于 DER 软件计算值较低。
- (3) 因软件处理数据的程序差异, HTRI 计算时可能会出现膜状流,进而导致总传热系数降低,换热面积增大。
- (4) 使用 HTRI 软件计算再沸器时,因避免较大的传热温差。当调整为较低压力的饱和蒸汽时,可降低传热温差,并可有效避免膜状流。

2.2 EDR 核算再沸器结果分析

通过对比再沸器计算结果,使用 EDR 软件会有以下特点:

- (1) 规定初始气化率,程序会自动核算推动力是否足够,并以正负表示偏差。设计中可通过调整再沸器入口的管道尺寸和长度,调整推动力的大小。
- (2) 计算热负荷与规定的热负荷一致,但总传热系数都较 HTRI 软件计算值大。
- (3) EDR 计算过程中会使用一些经验性参数,这些参数通常基于大量实验数据和工程实践得出。

2.3 换热面积的选择

分别采用两种软件计算再沸器时,两者计算的换热面积有时会有较大差异,可遵循以下原则选择换热面积:

- (1) 换热面积差异较大时,要进行管内流动模型分析。对于 HTRI,可适当降低传热温差以避免膜状流的干扰,对数平均温差在 $30^{\circ}\text{C} \sim 40^{\circ}\text{C}$ 范围内一般比较合适。
- (2) EDR 所选用的经验性参数,在一定程度上能反映实际传热过程中的复杂性和不确定性。但同时其结果可能不如使用更复杂的传热计算方法(如 HTRI)那样精确。因此,在使用 EDR 方法时,应结合实际工程经验和实际情况进行综合分析,并在必要时使用其他方法进行验证和补充。

(3) 结合资料文献或类似装置经验数据,初步确定合理的传热系数,进而在 HTRI 与 EDR 计算结果中选择和比较。

常规的再沸器设计中,若能避免膜状流的出现, HTRI 和 EDR 软件的计算结果将会基本一致,此时得到的再沸器尺寸,将具有较好的工程设计指导意义。

3. 结论

立式热虹吸再沸器设计涉及到多个方面,包括传热性能、结构设计、热虹吸原理应用等。合理选择计算软件对于提高设计效率和质量具有重要意义。通过对比分析 HTRI 和 EDR 软件的计算结果,进行合理的管程气化流型分析,同时,应结合经验数据判断传热系数,进而解决不同计算软件的换热面积差异问题。

参考文献:

- [1]郑志刚. 基于 HTRI 的立式热虹吸再沸器设计优化[J].山东化工, 2014.
- [2]刘健. 立式热虹吸再沸器 HTRI 优化设计[J].化工设计, 2008.
- [3]张雷, 闪建平. 立式热虹吸再沸器的设计与校核[J].河北化工, 2010.
- [4]孙兰义, 马占华, 王志刚. 换热器工艺设计[M].北京: 中国石化出版社, 2015.

作者简介:李春生(1989—),男,注册化工工程师,工学硕士,从化工工程设计、工艺研发方面的研究。