中石油西南油气田分公司

18 万吨/年高硫天然气净化尾气脱硫及深度开发项目

换热网络设计



华东理工大学 ECHO 团队

李天越，沈迪，崔海峰，蔡颖，闫瀚钊

目录

第一章 换热网络理论基础.....1
1.1 概述.....1
1.2 夹点技术.....2
第二章 工艺流股提取.....5
第三章 换热网络合成.....7
3.1 Aspen Energy Analyzer 介绍.....7
3.2 换热网络合成过程.....8
第四章 换热网络优化.....13
第五章 其他节能措施.....15
5.1 热泵精馏塔.....15
5.2 预分离工艺.....17
5.3 低压蒸汽再生.....18

第一章 换热网络理论基础

1.1 概述

从系统工程的角度可把过程工业的生产系统分为三个子系统，即化学装置子系统、换热网络子系统和公用工程子系统。其中化学装置由反应、精馏、吸收、萃取等化工基本设备单元组成，物料在这些设备中发生特定的物理、化学变化。在这些化学装置的结构和操作条件确定后，进出各个设备的流股根据操作条件要求需要冷却和加热，这些流股构成了热回收系统，即换热网络。

在工艺过程设计中节能是非常重要的，因此换热的目的不仅仅是为了使物流温度满足要求，而且也是为了回收过程余热，减少公用工程消耗，机遇这种思想进行的换热网络设计称为换热网络合成。换热网络合成的任务，是确定换热物流的合理匹配方式，从而以最小的消耗代价，获得最大的能量利用效益。

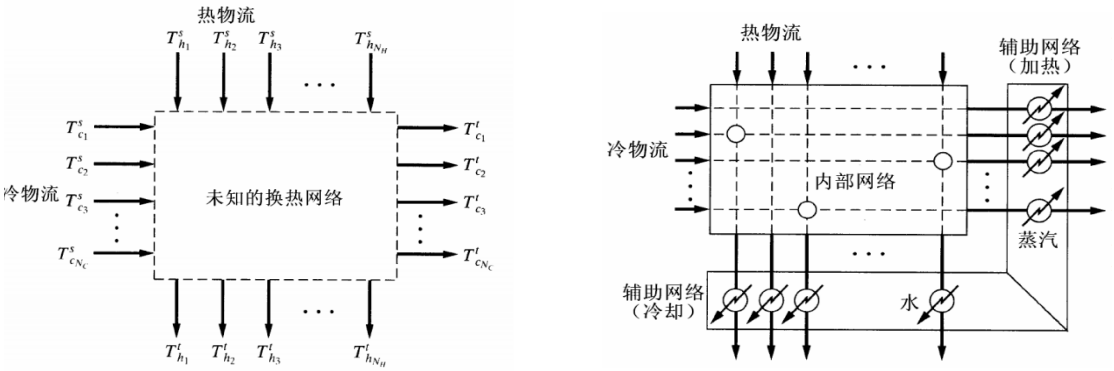


图1.1 热集成的来源和辅助换热网络

目前，换热网络集成主要有三种方法：试探法，夹点技术，数学规划法。其中，夹点技术以其使用简单，直观和灵活的优点被广泛的使用。但夹点技术也有其缺点，夹点在应用中的主要缺陷有两点：过于注重能量的节省，而在设备和经济上的考虑略显不足；有些夹点匹配技术（如利用分流技术来匹配物流）在工艺的难以实现。

采用夹点技术进行换热网络的设计时，除了通过物流的信息计算相关的物理参数从而满足换热匹配要求外，还要求得最小公用工程，最小换热单元数和最小换热面积。事实上，对于实际生产装置，很难达到这一目标。通常，最小公用工

程消耗意味着较多的换热单元数，而较少的换热单元数又需要较大的换热面积。同时换热网络的设计还需要考虑到设备布置，物流是否具有腐蚀性及对换热材料的要求，更要结合实际来确定合理的节能方案。因此，实际进行换热网络设计时，需要在某方面做出牺牲，以获得一个折中的方案。

本项目采取克劳斯工艺回收硫磺，并熔融聚合。纵观整个流程，大量能量被消耗在 MDEA 再生与硫磺精制过程中。因而需要对能量进行回收利用，并采取一定的节能措施来降低能量消耗，提高过程的经济性。

1.2 夹点技术

夹点技术（Pinch technology）是以热力学为基础，从宏观角度分析过程系统中能量沿温度曲线的分布，从中发现系统用能的“瓶颈”（Bottleneck）所在，并给以“解瓶颈”（Debottleneck）的一种方法。主要通过构造冷、热物流组合曲线，总组合曲线和平衡组合曲线来对工艺过程进行能量分析，制定节能设计和改造方案。

要形象的判断工艺流股的夹点位置，首先就要做出 T-H 复合图。T-H 图是用来表示工艺流股的热特性，即流股的温度—焓的关系图，流股在换热过程中的焓变为：

$$\Delta H = \int_{T_{初}}^{T_{末}} MC_p dT$$

其中 M 为质量流率，Cp 为热容。

以焓变为横坐标，温度为纵坐标作出的 T-H 图如下：

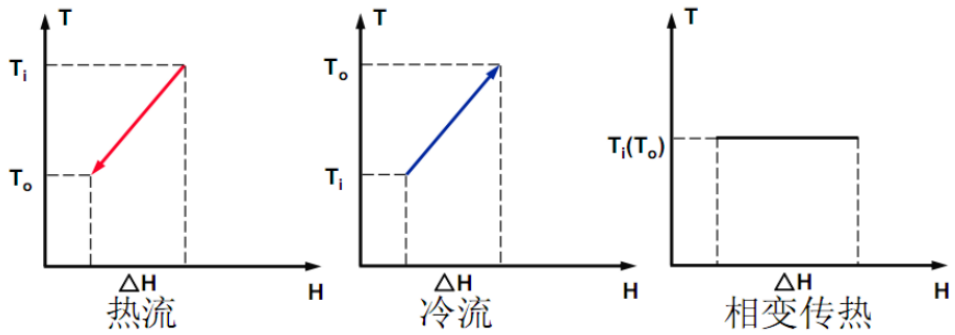


图 1.2 不同类型的 T-H 图

T -H 图上，焓在热力学意义上并不严格，其中线段可以水平的随意移动，并不影响焓变的绝对值，其斜率为 1/Cp。

对于多股流股，我们在 T -H 图上可以实现合并，热、冷流股经过简单的平移和重叠可以分别统一合并为一条。

在对冷热流股都进行了合并后我们可以得到如下图：

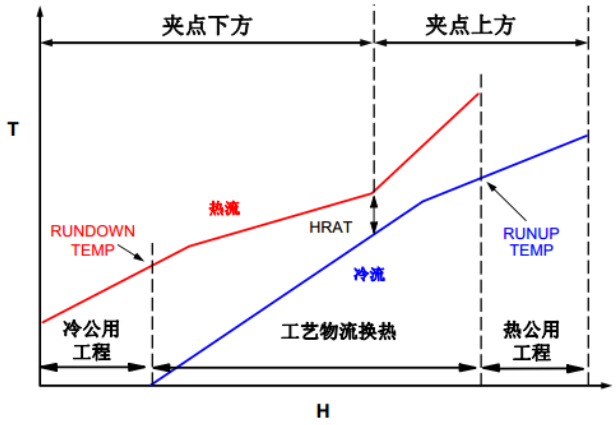


图 1.3　冷热流体的组合曲线图

在夹点位置：冷热物流间的传热温差最小，刚好等于△Tmin 且该处过程系统的热流量为零。

通过图我们可以很容易的发现夹点位置，并且直观的看出内部换热量与冷公用工程及热公用工程的大小比例关系。对于夹点的设计与优化存在三条准则：

一、无跨越夹点的传热

二、夹点之上无公用工程冷却器

三、夹点之下无公用工程加热器

夹点的选取对于整个工程的费用有着决定性的作用。从图中我们可以发现，当夹点选取越小时，内部换热量增加，公用工程费用减少，但是随着夹点温度的减小，换热器的面积增加，当夹点温度设置为零时，换热器面积达到无限大。因此，夹点温差与公用工程、设备投资、总费用的关系存在下图关系：

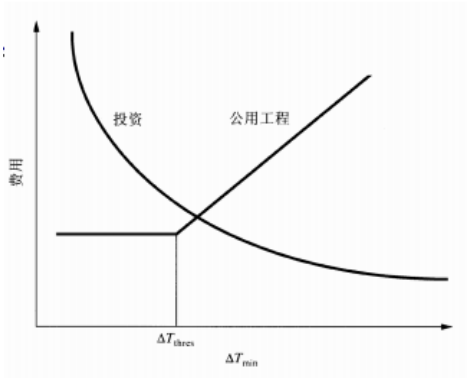


图 1.4　最小温差和费用关系图

可见，存在一个最优值，使总费用最小。

第二章 工艺流股提取

在换热网络设计前，我们已经对主要塔设备进行了优化，减少了许多不必要的能量能耗。我们再将可以需要热交换的数据（考虑到反应器的热稳定性等问题，不将其列入换热网络中）进行了提取，列于下表（流股编号为 Aspen Plus 初始编号，不包括聚合工段）：

表 2.1.1 预处理工段中间过程流股数据

流股名称	进口温度/℃	出口温度/℃	热负荷/kJ/h
4_To_8	-7.79137	-7.93408	11448021
10_To_7	-10.6703	-8.85457	11448008
S6_To_28	4.591175	38.74508	15128321
5_To_18	35.4949	6.875337	16220577

表 2.1.2 克劳斯工段中间过程流股数据

流股名称	进口温度/℃	出口温度/℃	热负荷/kJ/h
S210_To_S211	324.4497	135	9277483
S222_To_S223	319.1568	135	7703480
S227_To_S229	263.6084	40	26352038
S224_To_S226	135	260	5094005
S220_To_S221	133.1673	270	5602894
S212_To_S214	135	210	3041280
S205_To_S206	300.3989	135	12418788
S201_To_4	-46.7887	29.37	6323226
S207_To_S209	135	260	5265558
S216_To_S217	242.5321	135	4767610

表 2.1.3 尾气处理工段中间过程流股数据

流股名称	进口温度/℃	出口温度/℃	热负荷/kJ/h
S303_To_1	48.79197	90	1038584
S315_To_S316	167.576	30.1	1842093
S310_To_S311	113.5273	40	9270683
S1_To_S305	51.57969	99	6428094

表 2.2　尾气处理工段塔设备流股数据

塔设备名称	位置	进口温度/℃	出口温度/℃	热负荷/kJ/h
T302	BOTTOM	110.7408	111.4513	12066699
T302	TOP	100.9343	88.09754	8785475

第三章 换热网络合成

3.1 Aspen Energy Analyzer 介绍

Aspen 拥有自带的能量分析模块，能够轻松帮助用户实现热集成，换热网络的优化。在较早期的版本中，称为 Aspen pinch，而近两年的版本中改名为 Aspen energy analyzer。

Aspen energy analyzer 换热网络的合成与优化上主要是基于夹点技术。在用户指定的夹点温度下，它能够自动合成多套换热网络备选方案。由于换热网络的合成要考虑到设备费用与操作费用等各种复杂的情况，如果是基于换热网络合成的准则进行人工合成，那将会是一个浩大的工程，并且可能只会考虑到局部的优化而忽略整体优化，在这方面，Aspen 软件是一门有力的工具。但是我们也应该看到，在实际使用过程当中，Aspen 并不能为我们生成最佳的换热网络。计算机模拟生成最优换热网络是近几年来热门的研究课题，目前有基于 Grossmann 的超结构模型的改进算法，神经网络算法，模拟退火算法等等各种智能算法，但没有一个算法能够确保对于任何换热工况都能模拟出最佳的网络。在另一方面我们也应该看到， Aspen 模拟出的换热网络存在不符合实际的情况，如两股相隔较远的流股进行换热。这种情况下，虽然能够实现能量的回收，但是管道铺设费用将大大增加。因此， Aspen energy analyzer 主要用于初步的换热网络合成。

Aspen energy analyzer 在使用上主要步骤为：

Step1：提取 Aspen 或 Hysys 中模拟流程中的物流数据，或者是可以人工手动输入。选取公用工程，输入流股与换热器的费用参数。

Step2：进行最佳夹点温度分析。

Step3：自动生成多套换热网络也可以手动合成。

Step4：通过调节分流比例与换热器热负荷自动优化换热网络或认为根据换热网络的欧拉公式、拓扑结构等判断不合理的地方手动调节。

3.2 换热网络合成过程

我们将所提取的工艺流股输入 Aspen energy analyzer 中,并对最小传热温差进行经济评估，获得总费用和温差的关系曲线图。

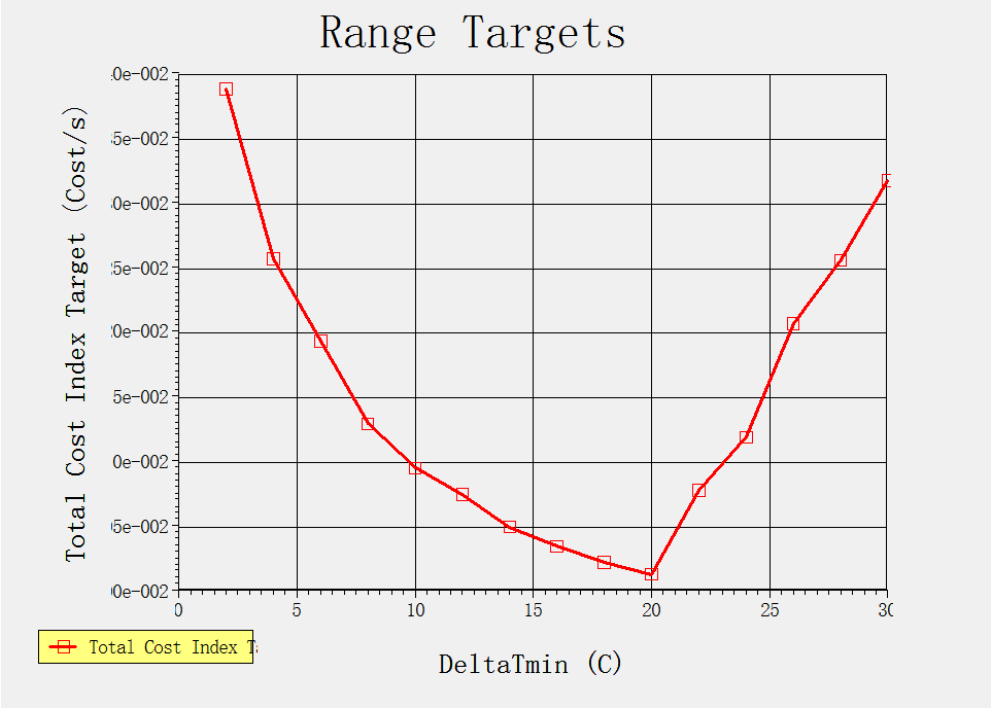


图 3.1　总费用-最小温差关系图

从上图观察可以发现，20℃左右，曲线总费用降至最低，因而我们选取最小温差为 20℃进行下一步工作。

设定最小温差后，我们获得冷热物流的总组合曲线如下图

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：https://d.book118.com/587165015030006142