



化工过程热集成

——Aspen Energy Analyzer



主要内容

§1 夹点技术

§2 夹点技术与换热网络的合成

§3 Aspen Energy Analyzer的应用



§1 夹点技术

夹点技术（Pinch technology）是以热力学为基础，以最小能耗为主要目标的换热网络综合方法。1978年，Linnhoff等提出了换热网络的夹点问题，指出夹点限制了换热网络可能达到的最大热回收。1983年，Linnhoff比较系统的提出了用于换热网络综合的夹点技术，并推广应用于整个过程的能量分析与调优。



§1.1 基本概念和术语

1. 基本概念:

夹点、冷物流、热物流、热容流率

2. 温焓图

3. 复合曲线

4. 总复合曲线



1. 基本概念

夹点

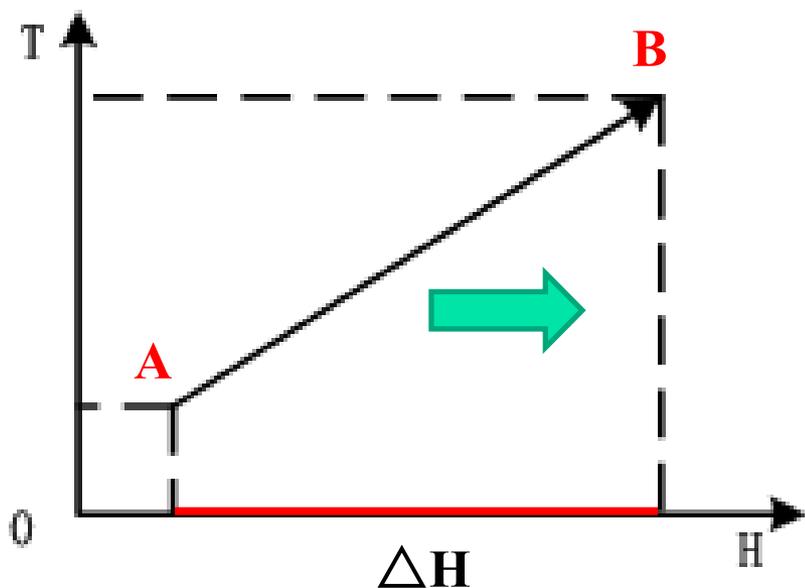
夹点——根据**冷物流**观点，在换热网络中

存在某一特定温度，**冷物流**——初始温度通过这一温度的物流。度将造成能源浪费，**热物流**——初始温度较高且

热容流率——流。

热容流率——工艺物流单位时间内每变化1K所发生的焓变，物流质量流率与比热容的乘积。

2. 温焓图 (T-H图)

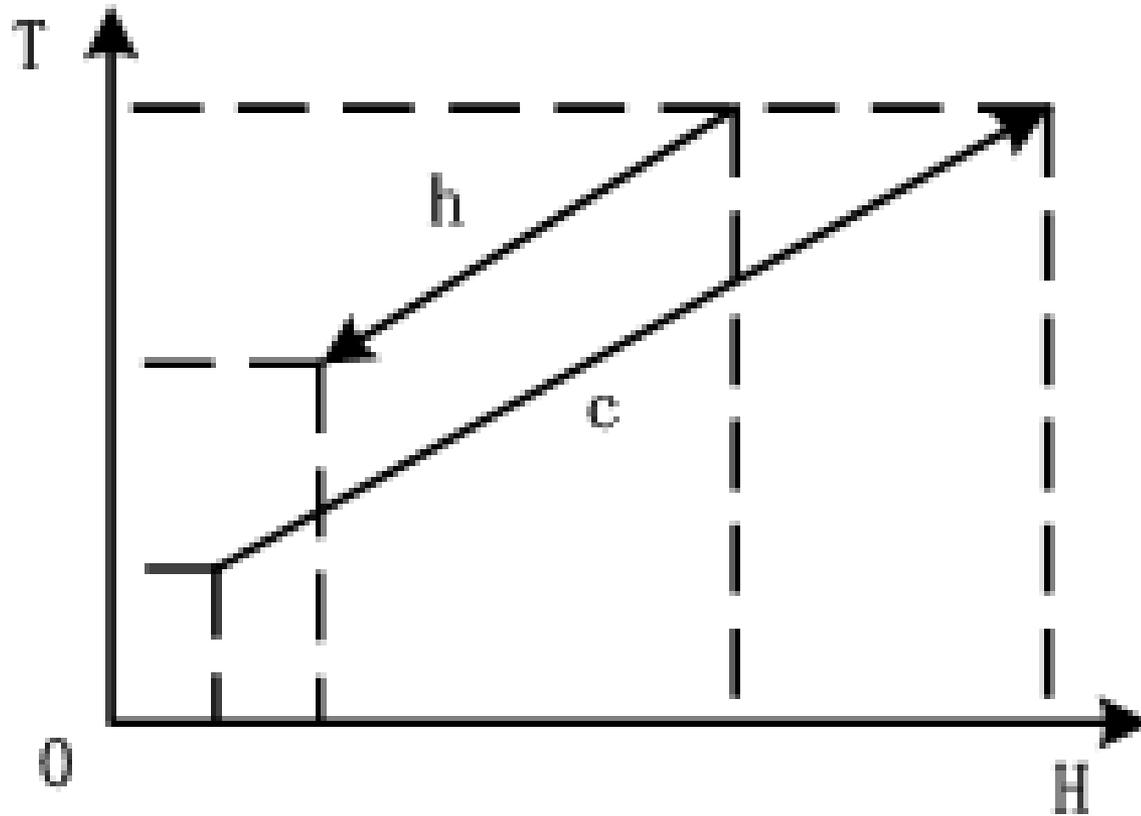


工艺物流在温焓图上的表示

特征:

- 线段AB的斜率为物流热容流率的倒数;
- 线段AB在T-H图中水平移动并不改变其对物流热特性的描述, 因为水平移动时物流的初始和目标温度以及热量 ΔH 不变。

2. 温焓图 (T-H图)



冷、热物流在同一温焓图上的表示



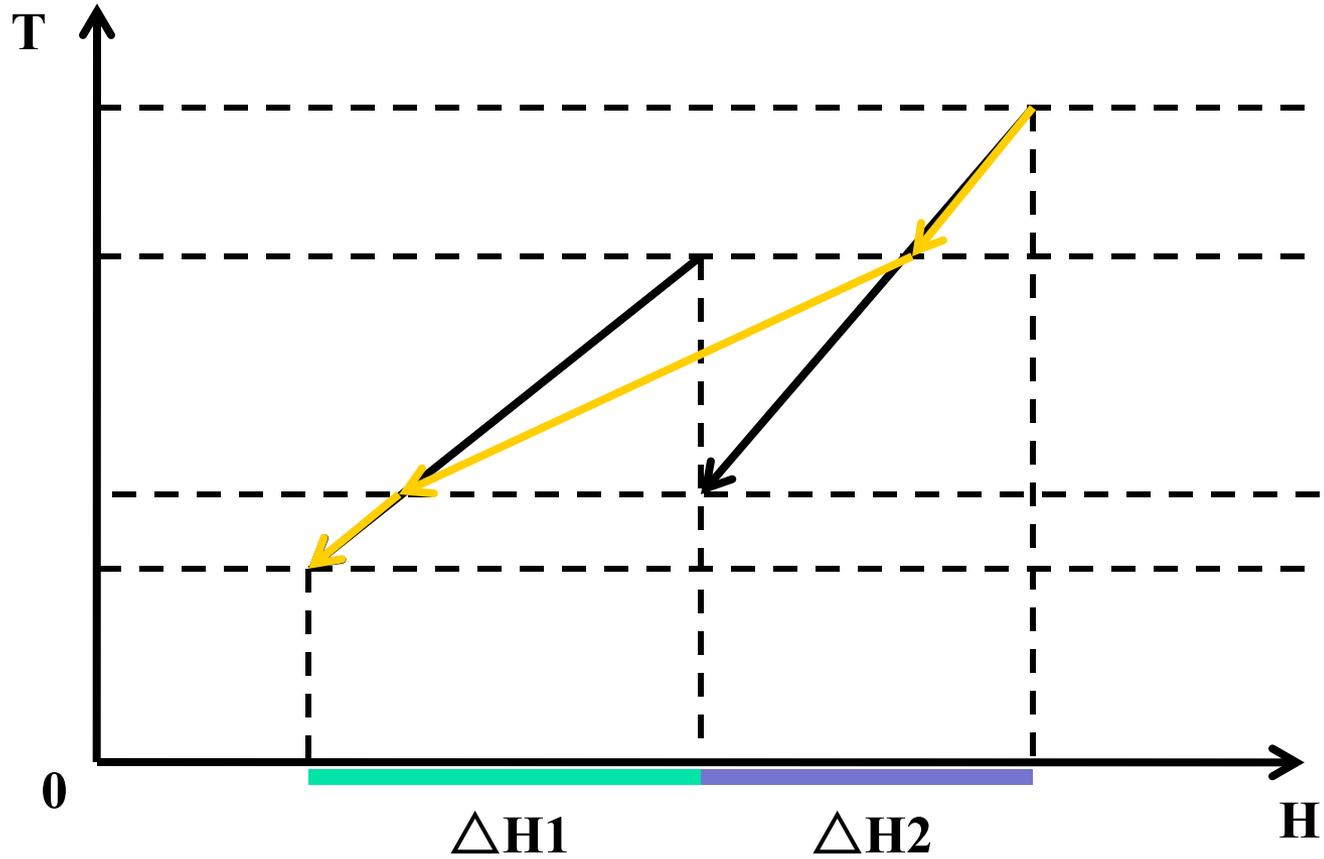
3. 复合曲线

对于多股冷、热物流的情况，需要将多股冷物流（或热物流）揉合成一条虚拟冷物流（或热物流），即复合曲线。

构造复合曲线的方法：

- (1) 首先把热过程物流分别标绘在T-H图上；
- (2) 然后分割成若干个温度区间；
- (3) 在每个温度区间内把物流的热负荷累加起来，用一个虚拟物流代表；
- (4) 将各温度区间的虚拟物流首尾相接。

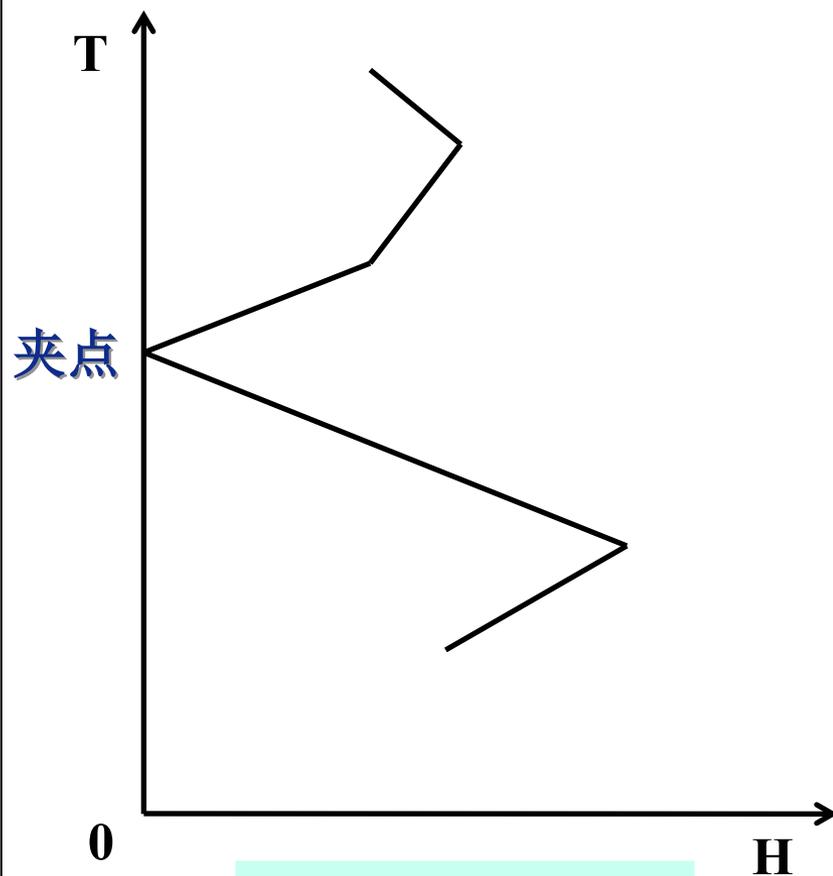
3. 复合曲线



复合曲线图构造图解

4. 总复合曲线

- 总复合曲线是由冷、热物流匹配作出的，在不同的温位，标出净热流量和该温段的温度值，连接这些点就构成了总复合曲线。
- 夹点处净热负荷为零，夹点之上为热阱，夹点之下为热源。



总复合曲线图

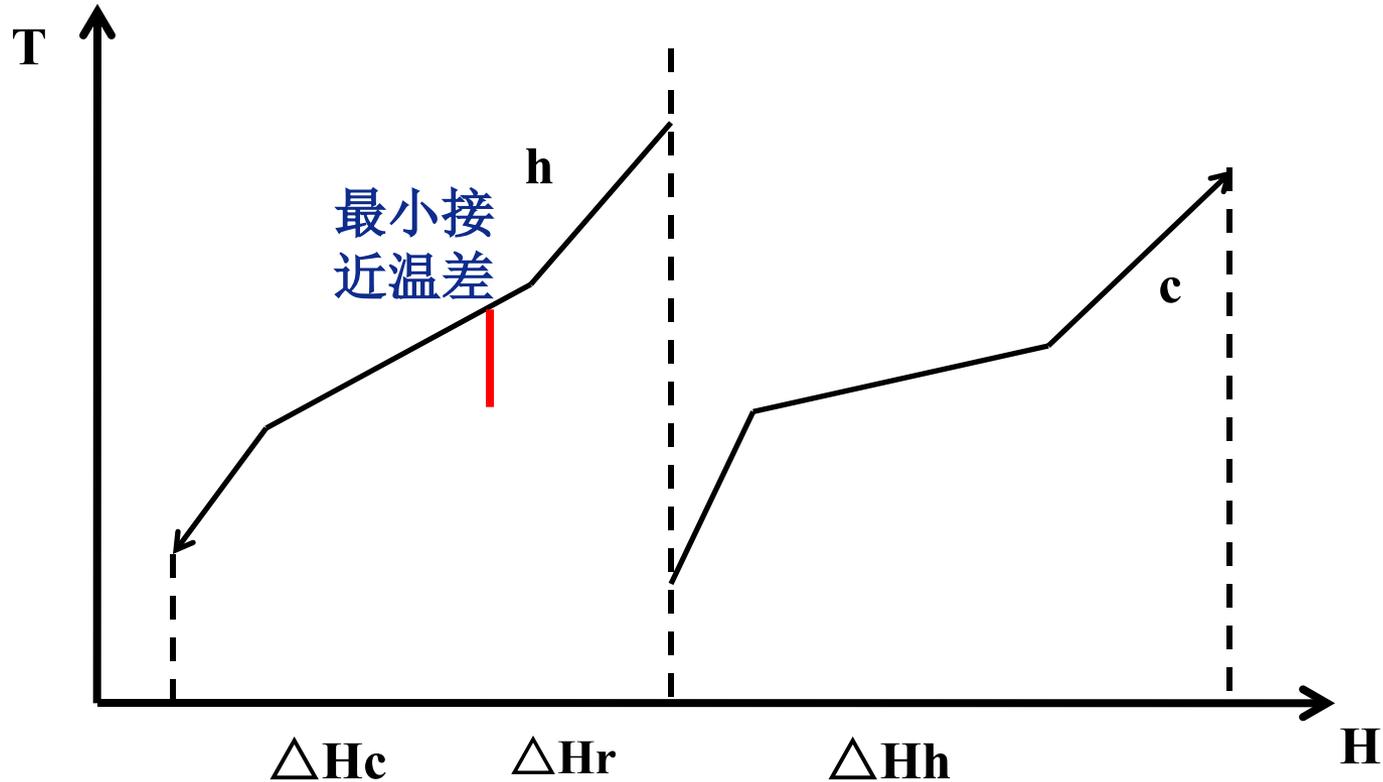


§1.2 夹点确定方法

夹点确定的方法主要有：

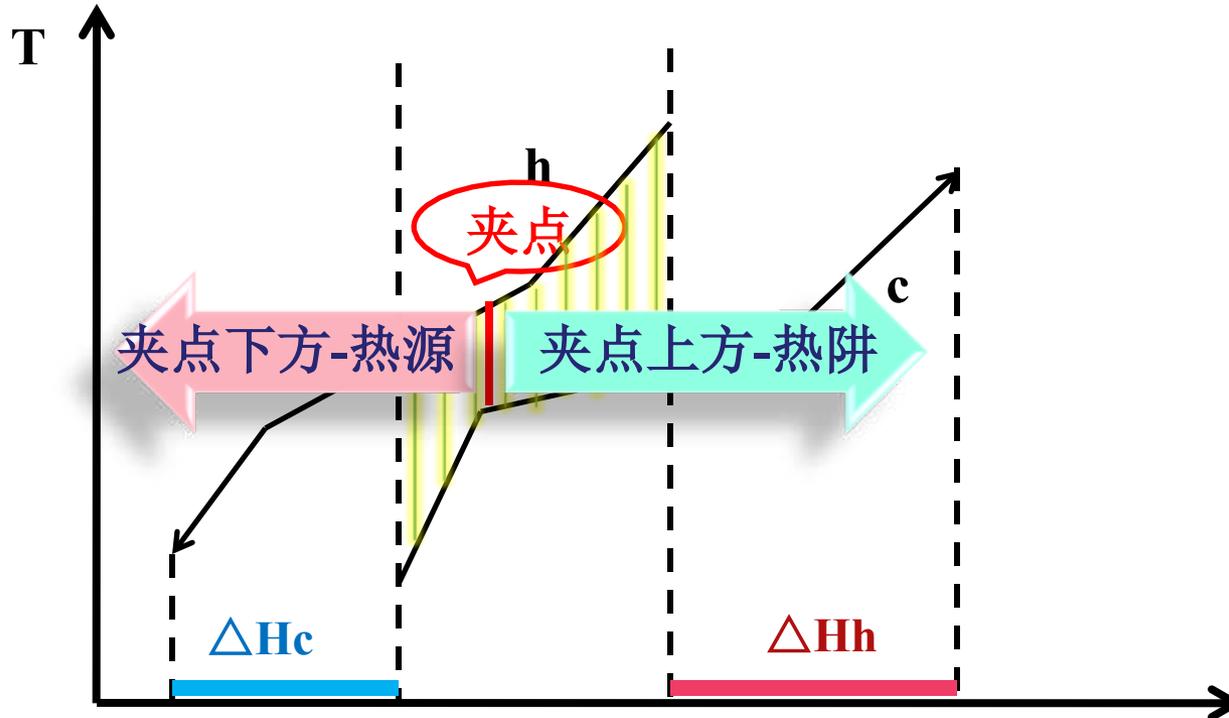
- 图解法
- 问题表格法

1. 图解法



冷热复合曲线在某处重合部分，此时回收的热量最大，有部分回收热量用公用工程来补充。在热回收过程中，热流温度差决定是否需要公用工程来冷却和加热。全部用公用工程来进行冷却和加热。

1. 图解法



重合部分 ΔH_h 过程内部垂直换热量为节约能源。
 ΔH_c 冷公用工程用量



2. 问题表格法

- 当物流较多时，采用复合曲线很繁琐，且不够准确，此时用问题表格法计算较精确。
- 问题表格法可以更深刻地理解夹点的实质及特性。



问题表格法求解步骤:

(1) 以垂直轴为温度的坐标，把各物流按其初温和终温标绘成有方向的垂直线。

在标绘时，处于同一水平位置的冷、热物流之间刚好相差 ΔT_{\min} ，这样就保证了热、冷物流间有 ΔT_{\min} 的传热温差。基于所有冷、热物流的初温和终温作出的水平线将换热网络划分成若干个子网络。



问题表格法求解步骤:

(2) 依次对每个子网络进行热量衡算。

$$D_k = (\sum CP_{k,c} - \sum CP_{k,h})(T_k - T_{k+1})$$

$$O_k = I_k - D_k$$

$$I_{k+1} = O_k$$

D_k ——第k个子网络的赤字，表示该网络为满足热平衡时所需外加的净热量；

I_k ——由外界或其他子网络放出的热量；

O_k ——第k个子网络向外或其他子网络放出的热量；

$\sum CP_{k,c}$ ——子网络k中包含的所有冷物流的热容流率之和；

$\sum CP_{k,h}$ ——子网络k中包含的所有热物流的热容流率之和；

k ——子网络数目；

$T_k - T_{k+1}$ ——子网络k的温度间隔，用该间隔的热物流或冷物流温度之差均可。



问题表格法求解步骤:

(3) 确定换热网络夹点的位置和所需的最小热公用工程用量和冷公用工程用量。

在某些子网络中会出现供给热量 I_k 和排出热量 O_k 为负的现象。 O_k 为负,说明在指定 ΔT_{\min} 下,系统中热物流无法提供使冷物流达到终温所需的热量,需要采用外部公用工程热量,使 O_k 消除负值。所需提供的最小热量就是使 O_k 或 I_k 中负值最大者变成零的热量。

$O_k = 0$ 处所对应温度为夹点温度,供给第一个子网络的热量即为所需的最小热公用工程用量,最后一个子网络输出的热量即为所需的最小冷公用工程用量。



§1.3 夹点的意义

- 夹点是冷热组合曲线图中传热温差最小的地方，此处热通量为零。
- 夹点将换热网络分为两个部分：
夹点之上称为**热阱**
夹点之下称为**热源**



§1.3 夹点的意义

- 夹点之上只有换热和热公用工程，如果夹点之上设置了冷却器，用冷公用工程取走热量 Q ，那么根据热平衡，这部分热量必须由热公用工程来弥补。
- 同理，夹点之下只有换热和冷公用工程，如果夹点之下使用热公用工程来加热，也必然需要增加冷公用工程用量。
- 如果发生跨越夹点的传热，即夹点之上的热物流与夹点之下的冷物流进行换热，那么夹点之上的热公用工程和夹点之下的冷公用工程用量都必然增加。



§2 夹点技术与换热网络

在石油化工生产过程中，一些工艺物流需要加热，而另一些工艺物流需要冷却，如何合理地将这些物流匹配在一起，充分利用热物流去加热冷物流、提高过程的热回收率，以便尽可能减少公用工程加热和冷却负荷是一个多方案、多目标的集成问题。



§2 夹点技术与换热网络

换热网络合成就是确定出这样的流程，使它具有最小的冷换设备（换热器、加热器和冷却器）投资费用和操作费用，并将每一个过程物流由初始温度达到指定的目标温度。除此之外，换热网络还要求具备较好的灵活性、操作性和可控性。



§2.1 换热网络合成的目标

- 最小公用工程负荷目标: Q_{Hmin} 和 Q_{Cmin}
- 最小换热单元数目标: U_{min}
- 最小传热面积目标: A_{min}
- 年总费用最小目标



1. 换热单元数目目标

$$U_{\min} = N + L - S$$

U — 换热单元数，包括换热器、加热器和冷凝器；

N — 冷热物流总数，包括公用工程物流，不包括物流分支数目；

L — 独立的热负荷回路数；

S — 该系统内分离为独立的子系统数。

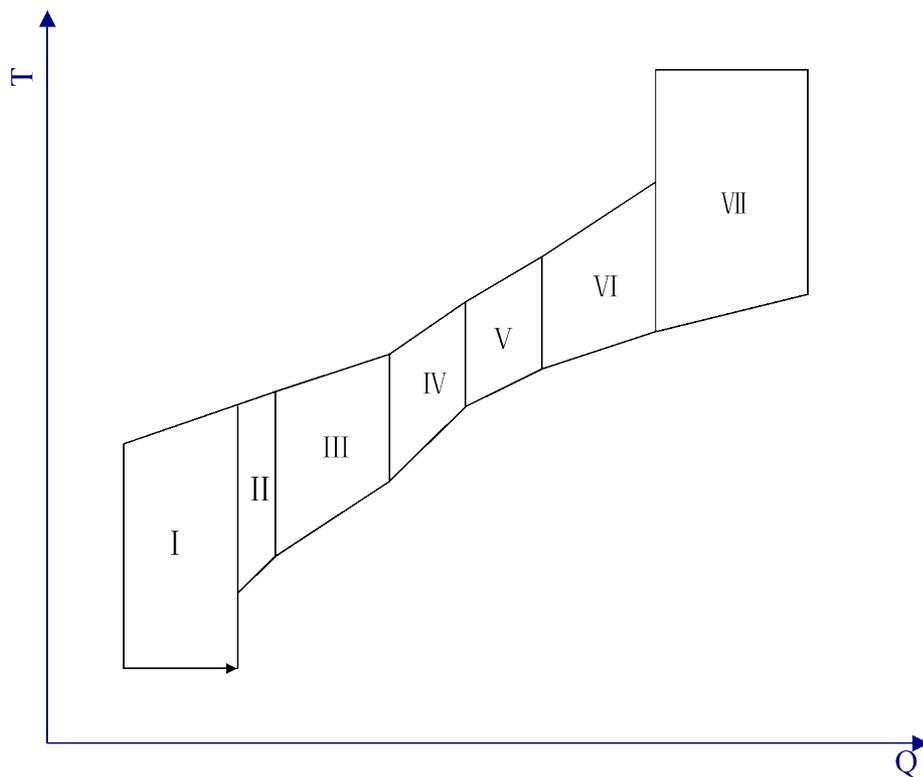


1. 换热单元数目目标

一般情况，当系统中不能分离出独立的子系统时，即 $S=1$ 。若使 U 达到最小，必定使 $L=0$ ，即把换热网络中所有的热负荷回路断开，则

$$U_{\min} = N - 1$$

2. 最小传热面积目标



换热面积分区计算图

$$A_i = \frac{1}{\Delta T_{lmi}} \sum_j \frac{q_j}{h_j}$$

$$A = \sum_i \frac{1}{\Delta T_{lmi}} \sum_j \frac{q_j}{h_j}$$



3. 年度费用最小目标

年操作费用+设备投资费用=年总费用

年操作费用:

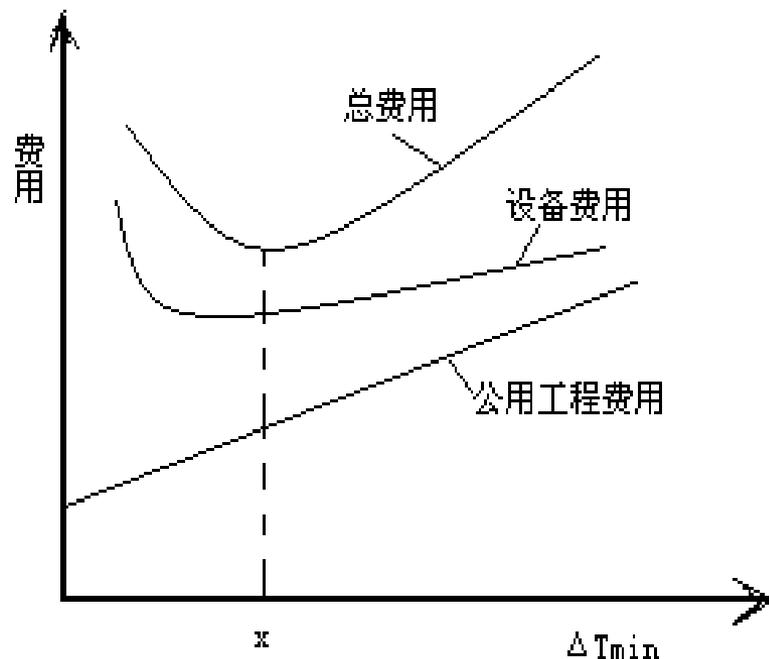
公用工程费用+人工操作费用

设备投资费用:

设备投资费用+管道安装+折旧率等

§2.2 夹点技术设计换热网络

- 在网络的设计中, ΔT_{\min} 的取值对能量的回收和系统的投资运行费用有直接影响。
- ΔT_{\min} 取值较小, 系统回收热量多, 冷、热公用工程费用小, 但换热面积较大, 系统造价高;
- ΔT_{\min} 取值较大, 系统回收热量小, 冷、热公用工程的费用大, 但换热面积小, 系统设备投资小。



换热网络中存在最优的夹点温差

最小传热温差对费用的影响



1. 夹点技术设计换热网络基本原则

- (1) 避免有热流量通过夹点换热；
- (2) 夹点上方应该避免使用公用工程冷却物流；
- (3) 夹点下方应该避免使用热公用工程加热物流。



2. 可行性规则

可行性规则1

对于靠近夹点处的夹点上方，热工艺物流（包括其分支物流）数目 N_H 不大于冷工艺物流（包括其分支物流）数目 N_C ，即

$$N_H \leq N_C$$

对于靠近夹点处的夹点下方，热工艺物流（包括其分支物流）数目 N_H 不小于冷工艺物流（包括其分支物流）数目 N_C ，即

$$N_H \geq N_C$$



2. 可行性规则

可行性规则2

对于靠近夹点处的夹点上方，每一夹点匹配中的热物流的热容流率 MCp_h 不大于冷物流的热容流率 MCp_c ，即

$$MCp_h \leq MCp_c$$

对于靠近夹点处的夹点下方，每一夹点匹配中的热物流的热容流率 MCp_h 不小于冷物流的热容流率 MCp_c ，即

$$MCp_h \geq MCp_c$$



3. 经验规则

经验规则1-所需换热单元数目最小

选择每个换热匹配的热负荷等于该匹配的冷、热物流中热负荷较小者，使之一次匹配可使一个物流（即热负荷较小者）由初始温度达到终了温度。

经验规则2-传热温差最大

在考虑经验规则1的前提下，如有可能，应尽量选择热容流率值相近的冷、热物流进行匹配换热。

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/878114134024006065>