

文章编号 1671-6833(2002)03-0019-03

合成氨全低变工艺换热网络优化设计

刘利平, 马晓建

(郑州大学化工学院 河南 郑州 450002)

摘 要 : 为探讨合成氨变换工段进一步降低能耗的可能性 , 在某厂年产 8 万吨合成氨全低变工艺流程的基础上 , 根据小合成氨厂工艺技术与设计手册 , 重新对变换工段的冷热物流进行了计算 , 由计算结果作出冷热物流组合曲线 , 利用夹点技术对换热网络进行优化综合 , 通过改变物流匹配的流量和流动路线等 , 设计出了一种新全低变换热网络 . 该网络在满足全低变工艺要求的前提下 , 能充分利用系统自身的热量 , 不需要外供蒸汽 ; 与第二换热网络相比 , 减少了设备数量和投资 ; 与现有流程相比 , 变化不大 , 具有节能应用前景 .

关键词 : 合成氨 ; 变换 ; 夹点技术 ; 换热网络 ; 最优综合

中图分类号 : TQ 015.2 ; TQ 440.6+2 文献标识码 : A

一氧化碳变换在合成氨生产中是一个重要的环节 , 也是影响生产能耗的一个主要工序 . 由于近年来具有低温高活性的 Co - Mo 系宽温耐硫催化剂的开发和应用 , 使得变换汽比大幅下调 , 同时变换系统内部能量回收系统的设备及操作条件不断优化 , 整个系统保温及操作条件的改进等 , 使得变换工段吨氨蒸汽耗量逐步降低 , 其消耗量由小合成氨诞生时的 1000 kg 以上 , 降低到传统中低变工艺的 250 ~ 300 kg 及全低变工艺的约 200 kg . 尽管如此 , 考虑到变换工段的总反应热效应是放热 , 还存在进一步降低能耗的可能性 , 有必要对此进行探讨 . 本文从变换工段入手 , 结合某化肥厂的全低变工艺指标 , 对整个变换系统的用能进行了计算 , 并利用夹点技术进行综合优化设计 , 期望得到最优或接近最优的结构 .

Linnhoff 等所开发的夹点技术又称为窄点技术 , 它是从对装置的热流分析入手 , 以热力学为基础 , 从宏观的角度分析系统中能量流沿温度的分布 , 从中发现系统用能的“瓶颈”所在 , 并给以“解瓶颈”的一种方法^[1-2] . 因为夹点技术具有简单、实用的特点 , 所以在过程系统的设计和节能改造中被广泛使用 , 是目前最实用的一种过程集成方法 . 在世界范围内已有 2500 多个项目中应用此技术 , 取得了显著的节能效果^[3] . 本文在对全低变工艺换热网络进行优化改造设计中就采用了夹点技术 .

1 全低变工艺换热网络物流数据计算

按合成氨生产能力为年产 8 万吨 , 依据以煤为原料、间歇制气的合成氨全低变工艺操作指标 , 部分设备按新型高效的 SMK 型或 SMGK 型换热器^[4]考虑 , 参考小合成氨厂工艺技术和设计手册^[5] , 并按照过程用能一致性的原则 , 对全低变工艺换热网络的物流数据进行了计算 , 得到了参与热量交换的物流数据 , 见表 1 .

表 1 换热网络物流数据
Tab. 1 The data of stream for HEN

流股号	初始温度/ ℃	目标温度/ ℃	热容流率/ (kW·K ⁻¹)	热负荷/ kW
H1	193	35	41.0	6478
H2	232	178	23.7	1280
H3	140	81	140.7	8301
H4	84	81	211.3	634
H5	342	193	21.3	3174
C1	81	104	129.4	2976
C2	81	111	77.9	2337
C3	35	205	58.2	9894
C4	30	70	60.8	2432

2 冷热物流组合曲线

依据表 1 中的冷物流和热物流数据 , 可画出冷热物流组合曲线 , 如图 1 所示的温 - 焓图 . 图中 T 表示温度 , H 表示焓 . 图中上方的曲线是热物流组合曲线 , 下方的曲线是冷热物流组合曲线 . 将过程

中的所有热物流按温度变化区间和相应的焓变化值在温-焓图上连续绘出,得到由高温到低温的热物流组合曲线,由所有的冷物流数据可作出从低温到高温的冷物流组合曲线.物流的热量变化量可用横坐标两点之间的距离即焓差 ΔH 表示,表示式为 $\Delta H = Q$, Q 为物流变化的热负荷.冷热物流组合曲线沿 H 轴平移,不改变物流的温位和热量变化量,当两条组合曲线在某处两者之间的垂直距离刚好等于规定的最小允许传热温差 ΔT_{\min} 时,该处即为夹点.此处的热通量为零.在图 1 中,热物流组合曲线在横坐标上的总焓差大于相应冷物流的值.对于 SMK 或 SMGK 型换热器,其换热系数高于普通的列管式换热器,另外,目前钢材价格不是很高,能源价格较高,因此可选取较低的夹点温差,本文选取的最小传热温差为 $\Delta T_{\min} = 12^\circ\text{C}$.

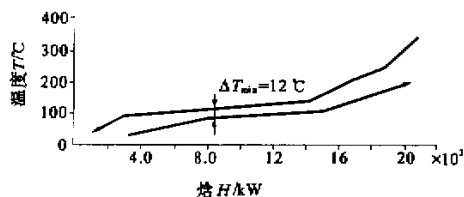


图 1 冷热物流组合曲线

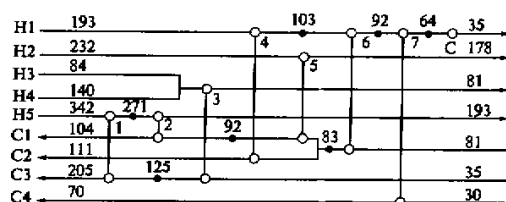
Fig.1 The combination curve of cold and hot stream

3 换热网络优化综合

为了达到最小公用工程消耗,实现最大能量回收,利用夹点技术对换热网络进行设计时,应遵循夹点技术的三个基本原则:不应有跨越夹点的传热,夹点之上不应设置任何公用工程冷却器,夹点之下不应设置任何公用工程加热.在对网络进行优化综合时,还应注意对网络进行一定的能量松弛,并保证网络有一定的操作弹性.本文在对全低变换热网络进行改造设计过程中,还遵循的原则有:尽量利用原工艺流程,少增加新设备;尽量利用现有设备,并减少设备投资;尽量不利用外供蒸汽.

选取了合适的夹点温差后,利用夹点技术对网络进行优化综合^[3,6].首先得到一个最大能量回收网络,接着对初始网络进行调优,先断开网络中的热负荷回路,然后适当利用了能量松弛方法,有效地减少设备数.在网络调优的过程中,参考了第二换热网络的结构,并致力于打破第二换热网络内热量回收和利用的界限,按系统内余热的能级和热量供求关系合理地组成一个换热网络,从而将合成氨反应热最大限度的综合利用,得到了有最大余热回收效果的新网络,如图 2 所示.把图 2 转变成一般形式的流程结构,得到的全低变换热网络新流程如

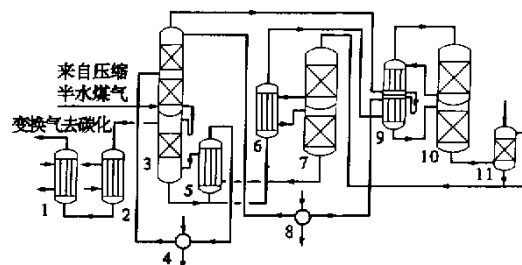
图 3 所示.



1. 中间换热器上段 2. 中间换热器下段 3. 饱和塔;
4. 第一水加热器; 5. 热交换器 6. 热水塔;
7. 第二水加热器 C. 冷却塔

图 2 换热网络结构

Fig.2 The structure of HEN



1. 冷凝塔 2. 第二水加热器 3. 饱和热水塔 4. 铜液加热器;
5. 第一水加热器 6. 热交换器 7. 二变换炉 8. 合成水加热器;
9. 中间换热器 10. 一变炉 11. 冷激增湿器

图 3 新换热网络流程

Fig.3 The new flow diagram of HEN

4 新全低变换热网络的特点

本文设计出的新全低变换热网络流程主要有以下四个特点:

(1) 满足全低变工艺要求的情况下,不需要外供蒸汽.新流程与传统的中低变工艺及目前使用的全低变工艺相比,可以省掉系统向变换工段提供的蒸汽.新流程中采用了循环水加热铜液,并且可使变换段出口干气中的 CO 含量降到 0.8%.

(2) 降低了设备投资费用.新全低变换热网络也可以说是新全低变换热网络,其与原第二换热网络相比,省掉了预饱和热水塔和加热精炼再生用热水的第二热水塔,减少了设备数量,节省设备投资费用.

(3) 全低变换热网络流程充分利用了现有全低变工艺设备,无很大的变动.

(4) 充分利用了不同能量级别的热源.在新流程中,饱和热水采用两股不同能位的热水,140 °C 的热水进饱和塔的上部,84 °C 的热水进饱和塔的中部,这样既能使精炼再生用的热水达到工艺要求的温度,又省去了因出口温度低而加入的后续蒸

汽,避免了热量后移,同时又使返回的较低温热水在饱和段中部增湿较低温度的半水煤气,热量得以充分利用,使整体余热得到了最大回收。

5 结束语

本文在换热网络综合优化的过程中,采用了统一的最小传热温差为 $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在实际生产过程中,这可能会对操作指标有影响,但可以通过一些措施来保证,如对换热器的结垢进行清洗,对破损的保温层进行修补,以及增设公用工程,在必要的时候开启蒸汽系统,总之,在保证生产稳定的情况下,应考虑系统的节能。

本文利用夹点技术得到的全低变工艺换热网络有显著的优点:能实现热量自供,不需要外供蒸汽,与第二换热网络相比,设备数目少,节省设备投资费用;与目前使用的全低变流程进行比较,无大的变化,同时还利用了各种先进技术,如新型高效的SMK和SMGK型换热器,以及借鉴了合成氨变换工段余热回收工艺^[7]等技术,从而保证设计

出的流程具有较好的节能效果和较高的整体先进水平,新换热网络流程为全低变工艺进一步节能改造提供了理论依据。

参考文献:

- [1] LINNHOFF B, TURNER J A. Heat recovery networks: new insights yield big saving[J]. Chem Eng, 1981, 88(22): 56-71.
- [2] TOWNSEND D W, LINNHOFF B. Heat and Power networks in Process Design[J]. AIChE J, 1983, 29(5): 743-771.
- [3] 冯 霄, 李勤凌. 化工节能原理与技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1998.
- [4] 刘利平, 马晓建, 李洪亮. SMGK型换热器的应用[J]. 化工机械, 2000, 27(1): 30-44.
- [5] 梅安华. 小合成氨厂工艺技术与设计手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 1995.
- [6] 姚平经, 郑轩荣. 换热器系统的模拟优化综合[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 1992.
- [7] 刘金成, 张立军, 郭彦书, 等. 合成氨变换工段余热回收工艺[P]. 中国: CN 1082508A, 1994-02-23.

Optimum Design of Overall Low Temperature Shift Conversion Heat Exchanger Network in Ammonia Production

LIU Li - ping , MA Xiao - jian

(College of Chemical Engineering Zhengzhou University Zhengzhou 450002 ,China)

Abstract : In order to inquiry into the possibility of further energy saving on overall low temperature shift conversion technology ,in this paper ,according to the technology and design handbook about small ammonia factory ,the cold and hot stream data is calculated on the basis of annual output 8 ten thousands ton ammonia overall low temperature shift conversion technology in a certain factory . The combination curves of cold and hot stream are made according to calculation result . The Heat Exchanger Network (HEN) of overall low temperature shift conversion is optimized by pinch point technology . A new HEN is arrived by changing flow and flow route of stream match .The new HEN can fully utilize its own system heat under these circumstances to meet the demands of overall low temperature shift conversion technology .It does not need external steam . Copared with the second HEN , the new HEN can reduce equipment number and cost . Compared with the present overall low temperature shift conversion process ,there is no bigger change . It has useful prospect for saving energy .

Key words : ammonia ; overall low temperature shift conversion ; heat exchanger network ; the pinch point technology ; optimize