

某合成氨厂氨合成工段换热网络的模拟与优化

董其伍, 靳遵龙, 刘敏珊, 刘 宏

(郑州大学热能工程研究中心, 河南 郑州 450002)

摘要:降低化工过程系统用能的手段之一就是应用系统能量综合技术,对整个系统进行用能的分析及调优,确定整个换热网络最佳的流程结构,在满足过程工艺物流初、终温要求的基础上,使其具有最少的设备投资费用和操作费用。基于夹点设计为主要方法,以年平均费用最小为目标,利用化工模拟软件 SIMSCI HEXTRAN 对某大型合成氨厂氨合成工段进行模拟,发现传热温差较大,用能状况有不合理之处,提出改善建议,并给出优化结果。

关键词:夹点设计;换热网络;模拟;优化

中图分类号:TQ083.3

文献标识码:A

文章编号:0253-4320(2006)S1-0304-03

Simulation and optimization of heat exchanger network for ammonia synthesizing workshop section

DONG Qi-wu, JIN Zun-long, LIU Min-shan, LIU Hong

(Thermal Energy Engineering Research Center, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

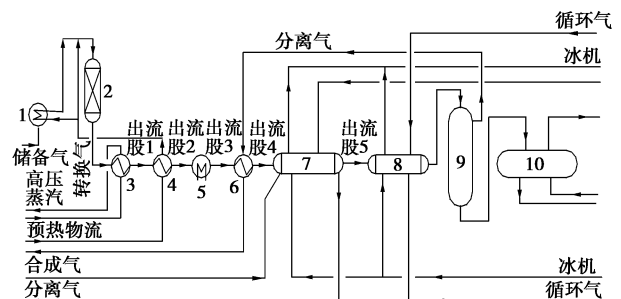
Abstract: One of the main methods to decrease the energy consumption of the chemical process is to integrate processes into one to make analysis and optimization of the whole processes. The best structure of exchanger networks of the whole process could be obtained which meet the need of temperatures for operation with the least cost spent. The synthesizing workshop section of an ammonia plant was simulated with the chemical process simulative software SIMSCI HEXTRAN, during which the pinch technology was used. The temperature difference of heat transfer in the network was found to be too high. And the energy consumed was somewhat unreasonable, in view of which some advice for improvement was put forward.

Key words: pinch technology; heat exchanger network; simulation; optimization

合成氨反应是体积缩小的放热反应,从热力学角度分析,升高压力、降低温度有利于反应的进行,但低温时反应速度极慢,为了加速反应,工业生产中必须使用催化剂,反应的温度同时受到催化剂活性温度的约束。

在其他条件一定时,必然存在一个合成氨反应最适宜的温度。但是由于在反应初期,最适宜温度已经超过催化剂活性温度,并且在合成反应开始初期,即使不是在最适宜温度反应速率也很大。因此,在设计合成塔时,应尽可能使反应温度在反应的中、后期接近最适宜温度,这样对强化生产、降低能耗等十分有益^[1]。根据所采用的合成氨反应催化剂,该装置设计进入催化剂的床层温度为 380℃,出催化剂床层温度为 414℃。

的该股都提取出来,把整个装置流程作为一个整体考虑,提取系统过程中与工艺物流匹配换热或与公用工程流股匹配换热的所有工艺物流作为参与能量分析的流股。现场流程图如图 1 所示,从其中提取的主要物流数据如表 1 所示。



1—启动加热器;2—氨转换反应器;3—废热锅炉;4—换热器;
5—气体冷却器;6—冷凝器;7—回路冷凝器 1;8—回路冷凝器 2;
9—分离器;10—闪蒸器

图 1 工艺流程图

1 工艺物流基本数据的提取

依据数据提取原则,将凡是参与能量转换过程

收稿日期:2005-12-23;修回日期:2006-04-24

作者简介:董其伍(1941-),男,大学,教授,博士生导师,主要从事过程装备强化传热及过程系统能量综合优化方面的研究,0371-63887312,

qwdong@zzu.edu.cn.

表1 现场条件下的主要物流数据

	温度/°C		组分摩尔分数/%					总流率		
	进口	出口	CH ₄	H ₂	N ₂	Ar	NH ₃	kg/h	kmol/h	kJ/h
预热物流	26	239	5.85	60.78	27.88	1.37	4.12	261020	23257.6	148179092
转换气	414	275	6.54	50.29	25.28	1.53	16.36	261020	20810.6	92660201
蒸汽	128	329	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46500	—	90501778
出流股 a	275	53	6.54	50.29	25.28	1.53	16.36	261020	20810.6	144523642
出流股 b	53	38	6.54	50.29	25.28	1.53	16.36	261020	20810.6	9442464
出流股 c	38	23	6.54	50.29	25.28	1.53	16.36	261020	20810.6	9424519
分离气	-10	23	5.99	59.92	28.45	1.41	4.23	2745.3	24039.3	23186372
出流股 d	23	5	6.54	50.29	25.28	1.53	16.36	261020	20810.6	11286546
出流股 e	5	-10	5.47	54.50	25.88	1.27	12.88	315372	26438.6	11759962
合成气	40	5	1.53	70.06	28.08	0.33	0.00	54417	5628.1	5666065

2 原换热网络的模拟分析

原装置换热网络中热物流的最高温度为414°C,经一系列换热后出换热网络的热物流温度为-10°C。为了减少有效能损失,不能把高温热物流经一次换热就达到所要求的出口温度,高温热物流的冷却必须循序渐进地进行。

应用 SIMSCI HEXTRAN[®] 换热网络模拟软件对该换热网络进行模拟与优化,目的在于^[2]:

(1) 确定原换热网络设计是否合理、完善,有无调整、改进的必要;

(2) 若原换热网络可以更进一步改进,确定出最佳的网络结构。

任何一个换热系统都可以分成2部分,一部分是热工艺物流与冷工艺物流间的相互换热;另一部分是用热公用工程对工艺物流进行加热,或者用冷公用工程对工艺物流进行冷却,后者会消耗一定量的外界能量,应尽量减少。换热系统设计的是否合理将会影响到外界能量消耗的多少。如果工艺物流之间未能充分换热,势必增大能耗的用量。

夹点分析的目的是确定最佳的热回收率,最小传热温差决定了系统的热回收量。最小传热温差越

小热回收量越大,而此时系统所需要的换热面积越大,以及由此而造成的操作费用也可能会升高。因此,需要综合考虑各方面的因素,使总费用最少^[3],由此确定最佳的热回收率即确定最佳的最小传热温差。

用 SIMSCI HEXTRAN[®] 软件对换热网络进行模拟与优化计算,需要提供各股工艺物流的初终温度、流量、组成、换热系数或者热负荷等数据。

用 SIMSCI HEXTRAN[®] 软件的 TARGETING 功能对原换热网络进行夹点模拟分析。从模拟输出结果上可以看出原换热网络的最小传热温差约为35°C,此时的最大热回收量为 254.99×10^6 kJ/h。此最小传热温差尚有减小的余地,以便减少公用工程用量,提高热回收率。

3 换热网络调优

对换热网络进行调优的目的在于最大限度地利用冷热物流进行换热,即充分利用热回收,尽量减少加热公用工程和冷却公用工程用量。

利用 SIMSCI HEXTRAN[®] 软件的 SYNTHESIS 功能,对给定不同的最小传热温差进行模拟与优化合成,结果摘要列于表2及图2。

表2 模拟与优化结果

传热数据及费用	传热温差/°C					
	15	20	25	30	35	40
工艺物流之间的换热数据						
传热面积/m ²	7342	6805	6850	5888	5605	4642
热负荷/10 ⁶ kJ·h ⁻¹	261.6	261.6	261.4	258.2	255.0	251.7
换算的投资费用/美元	3951885	3662645	3687075	3169294	3016776	2498449
工艺物流与公用工程之间的换热数据						
投资费用/美元	12416	12416	12495	14221	15972	17724
年操作费用/美元	165312	165312	166363	189336	212657	235978
年平均费用/美元	297455	287814	289682	295453	313748	319850

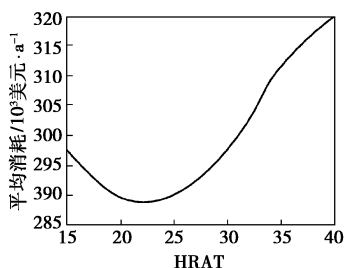


图 2 优化结果

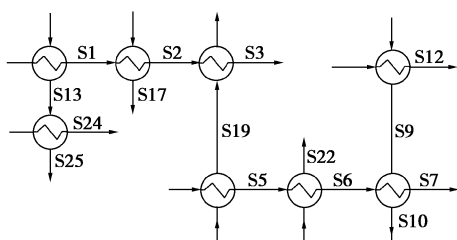


图 3 优化后的网络结构

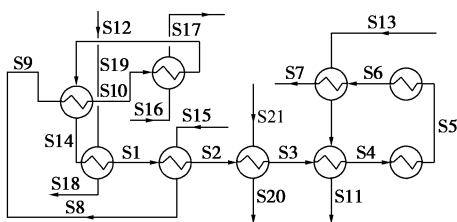


图 4 优化前的网络结构

从最大热量回收和年度平均费用等因素考虑,优化后的换热网络可以采用的最小传热温差为 20℃。此时,最大热量回收从原换热网络的 254.99×10^6 kJ/h 增加到 261.6×10^6 kJ/h。当最小传热温差为 20℃时,模拟软件给出的换热网络优化结构如图 3 所示,优化前的原始换热网络结构图也一并给出,

(上接第 303 页)

力增加,产品收率提高;同时由于引进了连续机制,从而提高了产率。克服了移动床和层析色谱的不足。

模拟移动床的分离单元仍是层析色谱柱。将高性能的动态轴向压缩柱替换常规的层析色谱柱,就得到了模拟移动床动态轴向压缩色谱。它兼具模拟移动床色谱与动态轴向压缩柱色谱的优点,而克服了彼此的不足。

相比之下,使用模拟移动床动态轴向压缩色谱纯化茄尼醇比聚合态共沉淀法和动态轴向压缩色谱纯法更省时、省力、成本更低。动态轴向压缩柱技术与模拟移动床技术结合是精品茄尼醇低成本生产的

如图 4 所示。

合成出来的换热网络仅仅从网络结构上进行了优化,具体到实际施工,可以以此为参考,并结合各物流所要求的换热匹配情况进行。

4 能量的合理利用

合理用能就是要注意对能量进行保护和管理,尽可能减少能量贬值^[4]。传热过程的能量贬值来自于传热温差,这就要求在换热设备中流体的温差分布要合理,尽量避免有较大的传热温差出现,做到合理的温位匹配。注意冷、热流股的合理搭配和换热顺序的合理排列,使整个换热系统的能量利用率最大。

具体到氨合成工序,氮气和氢气合成氨的反应是放热反应,除维持合成塔内反应的“自热”外,尚有多余的热能可以回收。因此,在氨合成回路的设计中为尽可能合理利用有效能,设置热-热换热器,提高入合成塔的气体温度,从而使合成塔的出气温度升高,并且利用此高温气体的热能产生高压蒸汽,以达到节约能量和降低生产成本的目的。

参考文献

[1] 姚平经. 全过程系统能量优化综合[M]. 大连:大连理工大学出版社,1995.
 [2] 孙宏,陆恩锡. 渣油制氨 CO 变换工段换热器系统优化[J]. 化学工程,1995,23(6):54-59.
 [3] Linnhoff B, Ahmad S. Cost optimum heat exchanger networks: minimum energy and capital using simple models for capital cost[J]. Computers & Chemical Engineering, 1990, 14(7):729-750.
 [4] 吕艳卓,常减压装置过程模拟与换热网络优化[D]. 大连:大连理工大学,2002. ■

最有效的技术支持。

参考文献

[1] 王非,郑珩,余永柱,等. 高纯茄尼醇的现状与市场前景[J]. 化工进展,2005(24):692.
 [2] 阎家麒. 辅酶 Q₁₀低成本生产的技术支持[J]. 精细与专用化学品,2005,13(22):10-12.
 [3] 林炳昌,宋峰,高丽娟,等. 抗菌素替考拉宁模拟移动床色谱分离中试研究[J]. 化学世界,2003,44(10):524-528.
 [4] 高丽娟,刘望才,张伟,等. 银杏内酯 B 的纯化[J]. 精细化工,2004,21(6):418-420.
 [5] 高丽娟,刘普,张伟,等. 生产银杏黄酮的模拟移动床色谱工艺[J]. 化学研究与应用,2004,16(3):429-430. ■