

三甘醇脱水装置换热网络夹点技术分析

李 奇¹ 姬忠礼¹ 张德元² 詹 钊¹

1.中国石油大学机电工程学院 2.中国石油西南油气田公司天然气研究院

李奇等.三甘醇脱水装置换热网络夹点技术分析.天然气工业,2009,29(10):104-106.

摘 要 三甘醇(TEG)脱水工艺是目前国内外天然气净化中应用最广泛的脱水工艺。为有效降低装置能耗,应用夹点技术对 TEG 脱水装置的换热网络进行了优化分析,运用 HYSYS 流程模拟软件模拟 TEG 脱水流程,并从模拟工艺数据中提取参与换热的冷、热物流物性数据,应用温—焓图、栅格图和问题表格法等夹点分析技术对 TEG 脱水流程的换热网络进行分析,找到装置用能的“瓶颈”——冷、热物流传热温差过大,阻碍热量进一步回收。综合分析温—焓图和 TEG 再生工艺,发现通过提高富 TEG 溶液换热后温度,可以降低物流传热温差,增加热量回收。对比优化前后天然气 TEG 脱水装置的工艺流程,HYSYS 模拟所得能耗数据表明优化后脱水装置 TEG 再生器加热负荷降低了 39.40%,问题表格法计算优化后贫 TEG 溶液冷却量减少了 156.20 kW。

关键词 天然气净化 TEG 脱水 夹点分析 换热网络 HYSYS 模拟 能耗

DOI:10.3787/j.issn.1000-0976.2009.10.032

目前天然气脱水装置主要采用设备节能技术改进和先进工艺来降低装置能耗^[1]。夹点技术(Pinch Technology)^[2-3]作为一种成熟的过程系统用能分析方法,在过程工业中已取得显著的节能效果^[4]。现在将夹点技术应用于天然气 TEG 脱水流程的换热网络分析与优化,以提高装置的能量利用效率。

1 TEG 脱水流程换热网络夹点分析

应用夹点技术对处理量为 $200\times10^4\text{ m}^3/\text{d}$ 天然气净化厂的 TEG 脱水流程的换热网络进行分析。

1.1 TEG 脱水装置换热流程

图 1 所示为天然气 TEG 脱水工艺流程。其主要换热物流为富 TEG 溶液和贫 TEG 溶液。

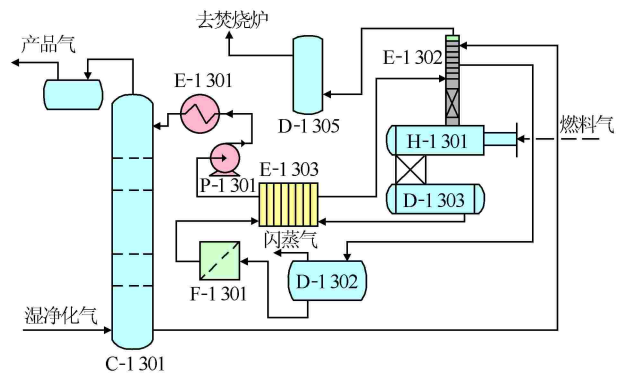


图 1 天然气 TEG 脱水工艺流程图

吸收塔 C-1301 底部排出的富 TEG 溶液经 TEG 再生器 H-1301 顶部盘管 E-1302 与再生气换热升温后进入闪蒸罐 D-1302 闪蒸,闪蒸后的富 TEG 液经过滤器 F-1301 除去杂质后,进入贫/富液换热器 E-1303 与再生后的高温贫 TEG 溶液进行换热,换热升温后进入 TEG 再生器 H-1301 再生。从再生器缓冲罐 D-1303 流出的高温贫 TEG 溶液,经贫/富液换热器 E-1303 换热降温后由 TEG 循环泵 P-1301 升压至贫液冷却器 E-1301 进一步冷却,满足脱水工艺要求的 TEG 贫液送至吸收塔 C-1301 顶部。

1.2 天然气 TEG 脱水工艺流程模拟

应用 HYSYS 模拟 TEG 脱水流程,得到换热过程所涉及各物流数据,以进行夹点分析。图 2 为天然气 TEG 脱水工艺 HYSYS 模拟流程图。

流程模拟的热力学模型选用 Peng-Robinson 状态方程。TEG 吸收塔设置 5 层理论塔板,从第 2 层到 4 层的板效率设为 0.5,塔顶和塔底的板效率设为 1,以保证产品气出塔时达到平衡状态。再生塔采用带塔底重沸器的精馏塔模型,塔顶安装一个全回流冷凝器。表 1 为模拟输入工艺数据。

1.3 提取物流数据

从 HYSYS 模拟数据中提取参与换热的物流温度、热负荷、热容流率等数据。TEG 脱水流程换热

作者简介:李奇,1981 年生,博士研究生;主要从事天然气开发过程能耗分析与优化研究。地址:(102249)北京市昌平区府学路 18 号中国石油大学 246 信箱。电话:(010)89734336,13269699788。E-mail:liqi_winner@126.com

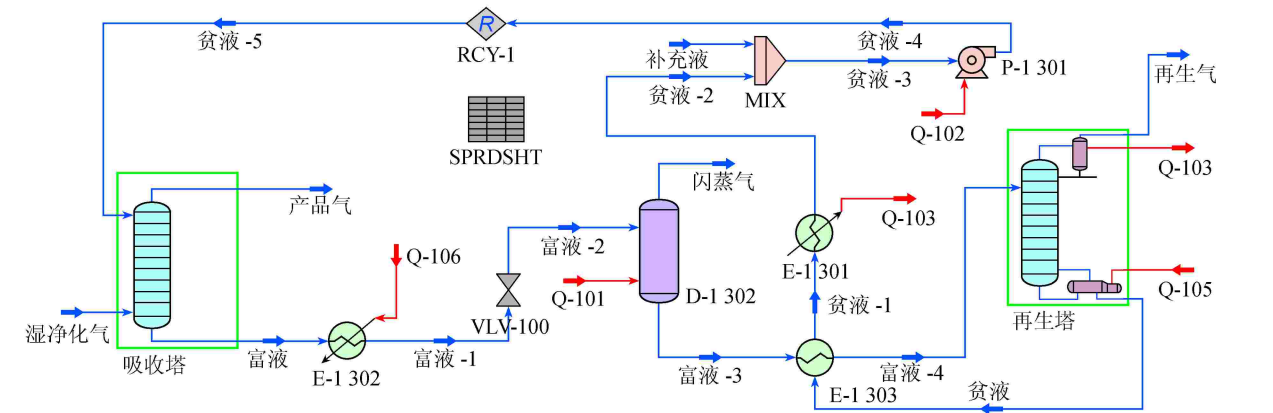


图 2 天然气 TEG 脱水工艺 HYSYS 模拟流程图

表 1 输入模拟工艺数据表

设备	项目	数值	单位
原料气	流量	3 501.2	kmol/h
	压力	4 550	kPa
	温度	39.3	℃
吸收剂	流量	28.6	kmol/h
	温度	50.3	℃
	压力	4 550	kPa
	质量分数	98.8	%
闪蒸罐	压力	120	kPa
	压力	100	kPa
再生塔	压降	10	kPa
	富液进塔温度	113.5	℃
补充 TEG	温度	25	℃
	压力	110	kPa

网络所涉及的冷、热物流主要有：贫 TEG 溶液 (H1)、再生气(H2)和富 TEG 溶液(C1)。表 2 为换热网络物流数据。

表 2 换热网络物流数据表

物流	起始温度 (℃)	终点温度 (℃)	热负荷 (kW)	热容流率 (kW/℃)
C1	42.81	113.50	164.70	2.33
H1	203.70	50.30	340.50	2.22
H2	142.20	95.50	72.85	1.56

1.4 换热网络夹点分析

设定最小允许传热温差 $\Delta T_{\min}=20\text{ }^{\circ}\text{C}$,图 3 为天然气 TEG 脱水工艺流程换热过程温焓($T-H$)图。表 3 为应用问题表格法计算换热网络所需公用工程量和夹点位置。换热网络的夹点位于 $193.70\text{ }^{\circ}\text{C}$,加热量为 0 kW ,冷却量为 248.10 kW 。

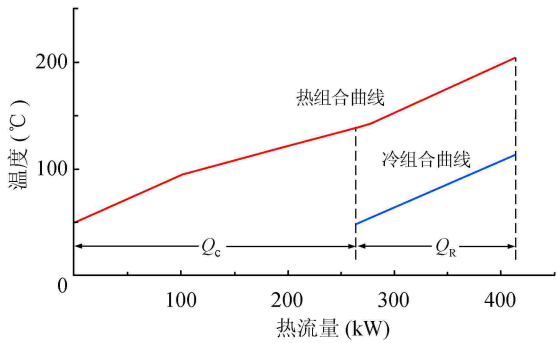


图 3 天然气 TEG 脱水换热过程 $T-H$ 图

表 3 问题表格法计算表

偏移温度 (℃)	温度 区间	$T_{i+1}-T_i$ (℃)	热容流率 (kW/℃)	焓差 (kW)	亏缺热量 (kW)	热通量 (kW)
193.70						0.001 1
	I ₁	61.52	2.22	136.20	136.20	
132.18						136.27
	I ₂	8.68	3.77	32.80	32.80	
123.50						169.04
	I ₃	38.00	1.45	55.00	55.00	
85.50						224.05
	I ₄	32.69	-0.11	-3.70	-3.70	
52.81						220.39
	I ₅	12.51	2.22	27.70	27.70	
40.30						248.10

从图 3 中可以看出 ,冷、热物流的传热温差远大于 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$,阻碍热量进一步回收 ,可认为此处是换热网络用能的“瓶颈”所在。

仔细观察 $T-H$ 图可知 ,如果将冷物流组合曲线向左平移 ,则可以减小物流的传热温差 ;同时提高冷物流的换后终点温度 ,则可以增加换热过程热能回收量 ;从工艺上分析 ,提高冷物流 (富 TEG 溶液)进 TEG

再生器的温度,可以减少 TEG 再生器再生所需热量。通过上述分析,找到解除“瓶颈”的方法,即降低换热物流间的传热温差,提高 TEG 富液换热后温度。

1.5 换热网络优化

在满足物流间最小传热温差条件下,通过优化算法可得冷物流(C1)换热后的最高温度为 180.90℃。

图 4 为富 TEG 溶液升温后的 $T-H$ 图。从图中可以看出,物流之间的传热温差明显减少,换热过程热量回收量加大,公用工程冷却量大幅减小。

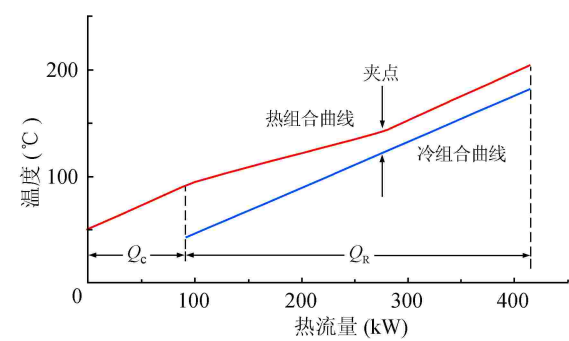


图 4 富 TEG 溶液升温后的 $T-H$ 图

根据升温后的物流数据,再用问题表格法计算得到升温后的夹点位置为 132.18℃,所需的冷却量为 91.86 kW。

根据夹点设计规则^[5],构建最大能量回收换热网络(MER),将 C1 物流按热容流率分成 0.92 kW/℃(C1-1)和 1.41 kW/℃(C1-2)两股物流,C1-1 物流通过换热器 E-1302 与再生气(H2)换热到 122.20℃,C1-2 物流通过新增换热器与贫 TEG 溶液(H1)换热到 122.20℃,然后两股物流合并成一股通过换热器 E-1303 与贫 TEG 溶液(H1)换热到 180.90℃,贫 TEG 溶液(H1)剩余热量通过冷却器 E-1301 将其温度从 91.7℃降到 50.2℃。图 5、6 为优化后的换热网络栅格图和工艺流程图。

根据优化后天然气 TEG 脱水流程工艺参数,应用 HYSYS 模拟得到 TEG 再生塔的热负荷为 284.60 kW,相对优化前的 469.40 kW,降低了 39.40%。贫 TEG 溶液冷却负荷减少了 156.20 kW。

换热网络优化后,换热器 E-1302 和 E-1303 的换热负荷及换热物流温度均有较大变化,需要重新校核计算,以满足工艺要求。

2 结论

应用夹点技术对天然气 TEG 脱水装置换热网络进行分析,确定出物流间传热温差过大是阻碍提高换热网络热量回收的“瓶颈”。依据夹点设计原则

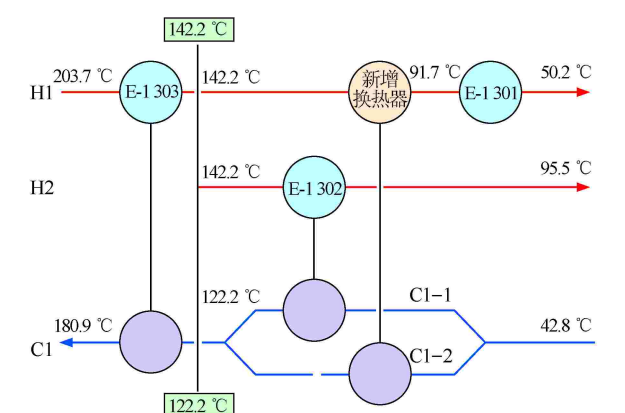


图 5 优化后的换热网络栅格图

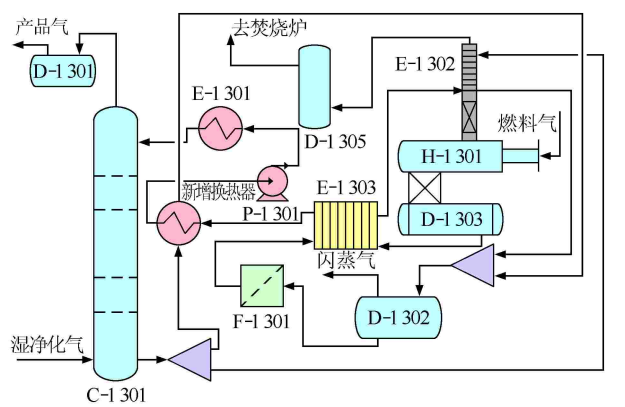


图 6 优化后的 TEG 脱水流程图

及 TEG 脱水工艺原理,提高了富 TEG 溶液进再生器温度,优化了物流换热流程。通过 HYSYS 模拟表明优化后 TEG 再生器的负荷大幅降低,公用工程冷却水用量明显减少,大幅提高了天然气 TEG 脱水装置的能量利用效率。

参 考 文 献

[1] 王乐,贾立民,付孟贵,等.天然气脱水系统的技术改造[J].天然气工业,2005,25(8):123-124.

[2] LINNHOFF B, VREFEELD D R. Pinch technology has come of age[J].Chemical Engineering Progress,1984,80(7):33-41.

[3] LINNHOFF B, FLOWER J R. Synthesis of heat exchanger networks[J].AIChE Journal,1978,24(4):633-640.

[4] YOON S G, LEE J, PARK S. Heat integration analysis for an industrial ethylbenzene plant using pinch analysis[J].Applied Thermal Engineering,2007,27:886-893.

[5] KEMP I C. Pinch analysis and process integration[M]. Oxford:Elsevier,2007.

(修改回稿日期 2009-08-03 编辑 何 明)