

富气压缩系统的改进

——直接水冷法

曹新波 段占庭

(清华大学化学工程系, 北京 100084)

摘要:提出一种改进富气压缩系统的新工艺——直接水冷法,可大幅度提高富气压缩机的入口压力,从而降低压缩机功耗,增大其处理能力,同时还可改善分离效果。以 150 万 t/a 规模的工业装置为基准,模拟结果表明,与原流程相比,采用直接水冷法后压缩机入口压力可提高约 50 kPa,压缩机功耗降低 11.8%。

关键词:富气压缩机;直接水冷法;改进

中图分类号:TE 624.4

文献标识码:A

Improvement on rich gas compression system: direct water-cooling method

CAO Xin-bo, DUNA Zhan-ting

(Department of Chemical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

Abstract: A novel process, direct water-cooling method, is introduced. It can greatly enhance the inlet pressure of rich gas compressor, reduce power consumption, increase production capacity, and improve separating effects. For an industrial unit of 1.5 Mt/a as a basic standard, simulation results indicate that the inlet pressure of rich gas compressor increases by 50 kPa and compressor's power consumption decreased by 11.8%, compared with the old process.

Key words: rich gas compressor; direct water-cooling; improvement

1 富气压缩系统简介及问题分析

催化裂化装置富气压缩系统的主要任务是将富气压缩到吸收操作所需的压力。分馏塔塔顶的气相出料经冷却到约 40℃,然后在分离罐中分相,液相称为粗汽油,气相称为富气,富气经过两段压缩后与粗汽油一起送入吸收-稳定系统再分离为干气、液化气和稳定汽油,工艺流程见图 1。

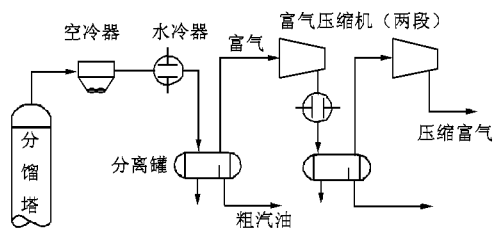


图 1 富气压缩系统流程图

由于压缩机能力有限,往往成为企业扩产改造的“瓶颈”之一。压缩机价格昂贵,若增加新压缩机,将花费巨额的投资,因而这未必是最优的选择。对压缩系统工艺进行改进,降低现有压缩机功耗,增大其处理能力,对各炼油企业来说具有更大的吸引力。

要降低压缩机功耗、增大处理能力,提高压缩机的入口压力无疑是有效的方法。如对于出口压力为 1.6 MPa(绝)的气压机,入口压力提高 0.02 MPa,可节省功耗 8%~9%^[1]。

除了分馏塔压降影响压缩机入口压力外,从分馏塔顶到富气进压缩机前的气液分离罐,通常包括一个水冷器和一个空冷器,这一段的压降也很大(工业数据表明,这一段的压降普遍高达 60~70 kPa,而分馏塔的压降也只有 40~50 kPa),在很大程度上增加了压缩机的负担。但这一点却没有引起人们的普遍关注,这方面的研究工作也很少。

另外,分离罐中的分离为一次平衡,受相平衡的限制,分离效果不好,较多重组分进入到富气中,而轻组分则较多地进入到粗汽油中。

文中提出的一种新工艺——直接水冷法工艺,可大幅度提高压缩机的入口压力,从而降低功耗,增大处理能力。同时,还可改善分离效果。

2 直接水冷法工艺介绍

所谓直接水冷法,就是将油气与冷却水直接接触、逆流换热的方法。将分馏塔顶水冷器、空冷器以及分离罐去掉,改用油气与冷却水直接逆流接触的水冷塔,水冷塔塔底采用油水分离罐将粗汽油和冷却水分开,冷却水循环使用,工艺流程见图2。

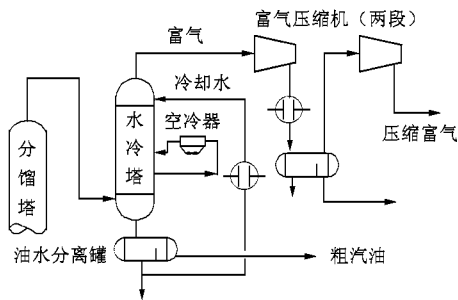


图2 直接水冷法工艺流程

之所以做这样的改进,是基于以下两方面的考虑:

(1)用直接换热代替间接换热,可大幅度减小压降。当然,采用高效、低阻的塔板是十分关键的。这里选用多溢流复合斜孔塔板^[2],这种塔板效率高(板效率约55%~65%),单板压降约266.6~399.97 Pa。若用10层塔板,总塔压降大约只有4 kPa,因此可以大幅度提高压缩机的入口压力。

(2)采用多级分离代替一次分离,可提高分离效果。原流程中分离罐中的分离是一次平衡,而改用水冷塔后变为多次平衡,因此可改善分离效果,从而在一定程度上减小后续工段的负担。

3 模拟计算及其结果

以150万t/a规模的工业装置为基准,利用PRO/II模拟软件分别对富气压缩系统原流程和改进流程进行模拟计算。

两种流程的进料(分馏塔塔顶油气)完全相同,压缩系统进料为:温度128℃,压力230 kPa,总流率2540.1 kmol/h,各组分流率如表1所示。在改进流程中,水冷塔塔板采用多溢流复合斜孔塔板,并做如

下保守估算:板效率50%,单板压降1 kPa;冷却水温度定为39℃。同时,就水冷塔采用10块塔板和20块塔板两种情况分别进行了计算。

表1 各组分流率的分布 kmol/h

组分	流率	组分	流率
H ₂ O	780.18	<i>i</i> -C ₄ [≡]	30.62
H ₂ S	42.68	1-C ₄ [≡]	30.64
H ₂	55.583	NBP-34	213.01
N ₂	53.81	NBP-58	69.10
O ₂	23.21	NBP-72	65.02
CO ₂	15.56	NBP-86	68.36
CO	2.10	NBP-100	71.81
CH ₄	133.20	NBP-114	71.57
C ₂ H ₆	65.89	NBP-128	67.10
C ₂ H ₄	62.82	NBP-141	63.63
C ₃ H ₈	43.15	NBP-155	54.50
C ₃ H ₆	171.67	NBP-169	45.51
<i>i</i> -C ₄ H ₁₀	90.56	NBP-183	37.24
C ₄ H ₁₀	18.26	NBP-196	21.55
<i>l</i> -C ₄ [≡]	35.67	NBP-210	4.54
<i>c</i> -C ₄ [≡]	26.47		

表2中列出了富气的计算结果,但并未列出全部组分的结果,这只是为了对比的方便。

表2 富气模拟计算结果

项目	原流程	改进流程	
		10块塔板	20块塔板
温度/℃	40	40	40
压力/kPa	170	220	210
流率/kmol·h ⁻¹	1033.7	1032.6	1027.8
C ₆ ⁺ 摩尔分数/%	5.24	2.92	2.47
组分流率/kmol·h ⁻¹			
<i>l</i> -C ₄ [≡]	26.00	28.95	28.92
<i>c</i> -C ₄ [≡]	18.98	21.20	21.18
<i>i</i> -C ₄ [≡]	23.78	25.96	25.95
1-C ₄ [≡]	23.69	25.89	25.88
NBP-34	104.68	118.89	117.96
NBP-58	20.89	18.68	17.70
NBP-72	13.76	8.10	6.56
NBP-86	9.62	2.70	1.15
NBP-100	6.45	0.62	0.05
NBP-114	3.95	0.10	—
NBP-128	2.21	0.01	—

由表 2 可知,采用直接冷却法之后,富气的压力由原流程的 170 kPa 分别提高到 220 kPa(10 块塔板)和 210 kPa(20 块塔板),即压缩机入口压力分别提高 50 和 40 kPa。同时,富气中 C_6 以上组分的含量由 5.24% 分别降到 2.92% 和 2.47%。这说明直接水冷法确实改善了分离效果。从组分的分布可以更清楚地看出这种效果。

从表 2 还可看出,采用 20 块塔板会获得更好的分离效果。显而易见,塔板数越多,分离的理论级数就越多,当然会获得更好的分离效果。但是,塔板数越多,塔压降必然增加,对压缩机不利。

表 3 中给出了粗汽油模拟计算结果。同样可以看出直接水冷法对分离效果的改善: C_4 以下组分的含量由 9.85% 分别降到 6.87% 和 6.75%。

表 3 粗汽油模拟计算结果

项目	原流程	改进流程	
		10 块塔板	20 块塔板
流率/ $\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}$	772.1	765.6	771.5
C_4^- 摩尔分数/%	9.85	6.87	6.75
组分流率/ $\text{kmol}\cdot\text{h}^{-1}$			
C_3H_8	4.12	2.77	2.74
C_3H_6	14.38	9.75	9.73
$i-C_4H_{10}$	17.79	12.08	12.05
C_4H_{10}	4.71	3.27	3.25
$t-C_4^-$	9.66	6.71	6.70
$e-C_4^-$	7.48	5.26	5.23
$i-C_4^-$	6.83	4.65	4.61
$1-C_4^-$	6.95	4.74	4.76
NBP-34	108.32	94.11	95.04
NBP-58	48.20	50.41	51.39
NBP-72	51.26	56.91	58.45
NBP-86	58.73	65.65	67.20

表 4 给出了富气压缩机模拟结果。由于在改进流程中,压缩机(1 段)入口压力有较大幅度的提高,因此在模拟计算时将压缩机 1 段出口压力由 500 kPa 增加到 600 kPa,使压缩比更为合理。最终得出,改为直接水冷法后,总压缩功耗分别降低 11.8% (10 块塔板)和 8.7% (20 块塔板)。这说明,采用直接水

冷法可以明显地降低压缩机的功耗,从而增大处理能力。

表 4 压缩机模拟计算结果

富气压缩机	原流程	改进流程	
		10 块塔板	20 块塔板
一段			
入口压力/kPa	170	220	210
出口压力/kPa	500	600	600
压缩比	2.94	2.73	2.86
功耗/kW	936.0	856.6	900.8
二段			
入口压力/kPa	500	600	600
出口压力/kPa	1600	1600	1600
压缩比	3.20	2.67	2.67
功耗/kW	847.5	716.3	728.2
总计			
功耗/kW	1783.5	1572.9	1629.0
功耗节省/%	—	11.8	8.7

另一方面,当增加塔板数时,虽然分离效果有所改善,但由于塔压降的增加,压缩机功耗反而增加,而且设备费用也会增加。因此,水冷塔不宜采用过多的塔板数。经过反复的模拟计算,采用 10 块左右的塔板是比较合适的。

4 结论

文中提出的直接水冷法是提高富气压缩机入口压力,降低压缩功耗,增大其处理能力的一种有效途径。

以 150 万 t/a 规模的工业装置为基准,模拟计算结果表明,当水冷塔采用 10 块塔板时,压缩机入口压力可提高约 50 kPa,压缩功耗较原流程降低 11.8%,同时分离效果也得到一定程度的改善。

参考文献

- [1] 陈俊武,曹汉昌.催化裂化工艺与工程[M].北京:中国石化出版社,1995.32
- [2] 杨国增.新型多溢流复合斜孔塔板的工业化应用[J].石化技术,2000,7(1):8~11