

分馏塔超负荷运行时的危害及控制措施

刘海波

中国石化西北油田分公司雅克拉采气厂, 新疆 库车 842017

摘要:在生产实践中,有时工艺条件的改变会造成分馏塔在正常设计负荷之外运行,使装置在安全生产及产品质量管理等方面出现问题。针对雅克拉集气站分馏塔超负荷运行时的情况,通过对问题产生原因、危害、塔负荷性能曲线等方面综合分析,从分馏塔进料量、回流量、塔压、塔顶温度、塔底温度等方面着手,采取措施对分馏塔运行参数进行综合控制调整,有效保证产品质量达到质量标准要求,保障了分馏塔安全平稳运行。该研究对板式塔超负荷运行时的参数控制有一定借鉴意义。

关键词:分馏塔;超负荷运行;危害;控制措施

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.06.007

Hazard of Fractionating Column Overload Operation and the Control Measures

Liu Haibo

Yakela Gas Production Plant of PetroChina Northwest Oilfield Company, Kuqa, Xinjiang, 842017, China

Abstract: In production, sometimes the fractionating column runs outside the normal design load due to the change of process conditions, which causes problems in production safety and product quality management. Based on the overload situation of Yakela fractionating column, through the analysis on the cause of the problem, hazard, load performance curve, etc, measures are taken from the fractionating column feed rate, back flow, pressure, overhead temperature and bottom temperature and other aspects for integrated control and parameters adjustment, which effectively ensures the quality of products and meets the quality standard, and ensures the safety of the fractionating column. The study provides reference for the control of parameters during overload operation of column.

Keywords: Fractionating column; Overload operation; Hazard; Control measures

0 前言

雅克拉集气处理站(简称雅站)位于新疆库车县境内,于2005年11月29日建成投运,设计日处理天然气 $260 \times 10^4 \text{ m}^3$,是集油气计量、天然气脱水及脱汞、制冷回收轻烃、凝析油稳定、西气东输为一体的大型综合型处

理装置^[1-3]。雅站凝液分馏单元的液化气塔为分馏塔,塔板结构为浮阀塔板,其设计作用是从脱乙烷塔来料中分离出合格的液化气及轻烃产品。2016年雅站新建塔河四号联合站(简称塔四联)混烃进站处理工程,增加了分馏塔的负荷,造成分馏塔运行工况出现波动,塔内产品质量不达标。针对分馏塔超负荷运行的情况,通过对

收稿日期:2019-07-16

基金项目:中国石化西北油田分公司项目“雅克拉气田开发地面建设工程”(04079)

作者简介:刘海波(1980-),男,河北海兴人,工程师,主要从事天然气处理装置的运行与管理工作。

根本原因的分析,并分析塔负荷性能对塔设备的影响,提出合理的控制措施,保障了分馏塔稳定运行,产品质量合格。

1 雅站凝液分馏单元概况

雅站液化气塔设计操作压力为 1.55 MPa、底温 185 ℃、顶温 55 ℃。现阶段控制的参数为压力 1.30 MPa、底温 151 ℃、中部温度 85 ℃、顶温 61 ℃。2016 年 3 月,为解决塔四联混烃由槽车运输存在的安全管理难的问题,并综合利用油气资源,将混烃进行分馏处理,生产高附加值的液化气和稳定轻烃产品,提高油田经济效益,新建了塔四联混烃进雅站液化气塔流程:塔四联的混烃(日产量 50 t/d)经外输泵增压后通过外输管线输送至雅站,在混烃缓冲罐(设计容积 49.22 m³)中缓冲后经混烃提升泵增压,与脱乙烷塔来凝液混合后进入新增换热器加热,然后再进轻油换热器升温,最后进入液化气塔生产液化气和稳定轻烃产品,见图 1。

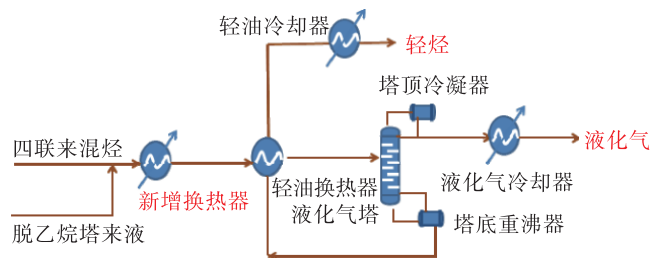


图 1 现凝液分馏单元流程简图

塔四联混烃中各组分质量含量为: C₃ 1.77%、C₄ 9.97%、C₅ 26.89%、C₆ 26.61%、C₇ 18.64%、C₈ 8.16%、C₉ 5.09%、C₁₀ 1.93%、C₁₁ 0.5%、C₁₂ 0.2%、C₁₃ 0.21%、C₁₄ 0.01%。

雅站液化气塔产品设计负荷为液化气 140.85 t/d, 轻油 86.60 t/d。塔四联混烃进站后,虽通过限制进塔流量,控制塔四联混烃分为 24 h 进塔,但仍每日增加液化气塔进料量 50 t。根据液化气质量标准(GB 11174 - 2011《液化石油气》,液化气产品中戊烷及戊烷以上组分质量含量应不高于 3%)和轻烃质量标准(GB 9053 - 2013《稳定轻烃》,2 号稳定轻烃饱和蒸汽压夏季不高于 74 kPa,冬季不高于 88 kPa),液化气产品中戊烷及戊烷以上成分、轻烃产品中丙丁烷含量极少,故本次计算气液相负荷时,忽略液化气中的戊烷及戊烷以上成分和轻烃产品中的丙丁烷成分,根据塔四联各组分质量含量可算出:液化气塔中约增加气体流量(丙丁烷) 50 t/d × 11.74% = 5.87 t/d,增加液体流量 50 t/d × 88.26% = 44.13 t/d,混烃进站前雅站液化气塔液化气产量 132 t/d,轻油产量 73 t/d,混烃进站后液化气产量达到 137.87 t/d,轻油产量达到 117.13 t/d,由以上计算可知:混烃进站后

分馏塔气体流量接近设计负荷上限,液体流量超出设计负荷 135.25%。由此产生的明显后果就是按照原操作参数运行时,塔顶产品重组分较高,塔底产品饱和蒸汽压超高,塔底产品质量不合格。

2 分馏塔负荷超出设计范围的危害

影响板式塔操作状况和分离效果的主要因素为来料组分性质、塔板结构及气液相负荷,对于已建成的板式塔,由于塔板结构固定,其操作状况和分离效果只与来料组分性质及气液相负荷有关。要维持塔板的正常操作和塔板效率的基本稳定,必须将塔内的气液相负荷控制在一定的范围内。以塔内液相流量 L 为横坐标,气相流量 V 为纵坐标,将此范围在直角坐标系中进行绘制,所得图形即为塔板的负荷性能图^[4-6],见图 2。

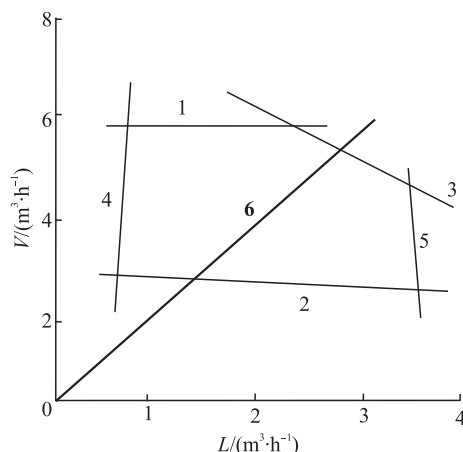


图 2 塔板的负荷性能图

2.1 气相负荷超出设计范围的危害

图 2 中线 1 为塔的气相负荷上限线,当塔内上升气相的流量超过此上限时,即使此时液相负荷较小,液体被上升的气体夹带到上一层塔板上的量仍会猛增,塔板上液相逐渐增多,最终可能使整个塔内空间全部被液体所占据,这种现象称为雾沫夹带液泛^[7-9]。

气、液两相以鼓泡形式在塔板上接触传质,气相经过液相层时会带出一定的雾滴,雾滴中的重组分未得到有效分离就被带到上一层塔板上,这种现象称为“雾沫夹带”^[10-12]。进入上层塔板的雾滴增加了塔板上液体的重组分含量,降低了塔板上重组分的分离效率。过多的雾沫夹带会破坏塔的正常操作,造成分馏塔压力、温度剧烈波动,塔板效率大大降低,塔顶产品中重组分含量增加,严重时甚至造成冲塔、塔顶产品不合格。

2.2 气相负荷低于设计范围的危害

图 2 中线 2 为气相负荷下限线,若气相流量低于此下限值,上升气体无法托住塔板上的液体,液相不是由降液管到下一层塔板,而是大量由塔板上的阀孔漏到下

一层塔板,液相未与气相在塔板上充分接触传质,塔板上从液相中分离的气泡过少,气液分离效果差,下降液相中含轻组分过多,塔板效率大幅度下降^[13-15]。

2.3 气液负荷超出设计范围的危害

图2中线3为液泛线,若气、液流量超过此线的值,由于此时雾沫夹带程度较严重,塔内液相负荷过大,使塔板上液体不能沿降液管顺利流下,致使液体流动发生堵塞,使数层塔板上的液体连成一体,这种现象称为“液泛”^[16-18]。液泛严重时,塔底液相大量进入塔顶产品中,形成淹塔。造成液泛的原因主要是气、液相负荷过大或降液管堵塞。

2.4 液相负荷低于设计范围的危害

图2中线4为液相负荷下限线,若液相流量低于此下限值,不论此时气相负荷为多少,都会导致塔板上液体分布严重不均匀,塔板上分布的液相存在滞流、缓流区域,此区域只有极少的液相流入或流出,区域内液相呈接近饱和状态,经过此处的气相几乎没有发生浓度变化。这种情况必然导致塔板整体液相与气相接触传质效率下降,上升气相中带有重组分无法得到有效分离,塔板效率急剧下降。

2.5 液相负荷超出设计范围的危害

图2中线5为塔的液相负荷上限线,若液相负荷超过此塔板的负荷上限值,液体就不能正常地通过降液管向下流动,塔内液体在塔板及降液管上积累而直至充满整个塔内空间,这种现象称为溢流液泛^[19-20]。严重的溢流液泛会造成淹塔,导致塔内产品质量不合格。

正常情况下,塔内液相在塔板上与气相接触并传质,后经降液管到达下层塔板。液相进入降液管时会带有少量轻组分,需在降液管中停留足够的时间,才能使轻组分得到较好的分离。如果液相流量增加,液体在降液管中停留时间过短,液相中的轻组分得不到较好分离就被带入下一层塔板,这种现象称为“气泡夹带”^[3-4]。被带下去的少量气泡增加了下一层塔板上液相中轻组分含量,过多的气泡夹带会降低塔板的分离效率,导致塔底产品中轻组分含量增加,甚至造成塔底产品质量不合格。

综上所述,图2中线1~线5所包围的区域即为塔板的稳定操作范围,线6为操作线,操作时的气相流量 V 与液相流量 L 在图2上的坐标位置称为操作点。塔板的操作点应尽可能位于塔板的稳定操作范围内,此时气、液两相流量的变化对塔板效率及塔内产品质量影响不大;反之,则塔板效率急剧下降,塔内各参数波动较大,严重时甚至发生液泛,导致产品质量不合格。

3 分馏塔超负荷运行时的控制措施

根据目前雅站分馏塔气、液相流量与塔板负荷性能

的关系,雅站分馏塔目前的问题主要是塔内液体流量远远超出塔设计负荷,易发生溢流液泛,且气泡夹带现象大量发生,塔底产品轻组分含量过高。

3.1 塔顶回流量及温度控制

防止分馏塔因液体流量过大而发生严重的气泡夹带现象及溢流液泛,主要措施是减少塔顶回流量。但塔顶回流量的多少在影响塔内塔板负荷的同时,也会影响塔顶温度。塔顶温度是一个非常重要的参数,温度的高低直接影响着塔顶产品的质量和塔的稳定操作。正常操作中,塔顶温度高低与塔顶产品质量要求相对应。塔顶温度、回流量一定要严格控制,逐渐调整,以避免打乱塔的平稳操作,造成产品质量不合格。减少回流量,分馏塔塔顶温度会升高,塔顶产品组分偏重,甚至不合格,所以在正常的操作过程中,要根据塔顶产品分析报告逐渐减少塔顶回流量。

3.2 塔的压力控制

分馏塔塔顶压力对整个分馏塔组分的挥发度有直接影响。雅站分馏塔塔顶压力主要受进料组分及四台塔顶空冷器冷凝能力的影响,因进料组分不宜轻易调整,实践中分馏塔压力一般通过调整空冷器转速及数量控制。因减少塔顶回流量会导致塔顶温度升高,塔顶产品重组分含量增多,为保证分馏塔塔顶产品质量,应提高分馏塔的运行压力,使塔内产品的挥发度降低,有效减少塔顶产品中重组分含量。

3.3 塔底温度及液位控制

分馏塔液相负荷过大会加重气泡夹带现象,严重的气泡夹带会造成塔底产品轻组分过多,塔底产品质量不合格,甚至发生溢流液泛。塔底温度是平衡物料在该塔的蒸发量大小的主要依据,提高塔底温度能够提高塔底轻组分蒸发量,使上升气体中重组分含量增加,塔内液相负荷减小,塔底产品中轻组分含量减少,有效降低塔底产品饱和蒸汽压,保证塔内各产品质量。

分馏塔重沸器是分馏塔重要设备,重沸器中的物料液位与分馏塔液位处于同一高度,它的作用是为全塔分馏提供足够的热量,使分馏塔底液相部分气化,为塔内气液传热传质提供足够的气相负荷,以更好地分离塔内各组分。分馏塔底重沸器液位平稳与否是影响塔的各个操作参数的关键,直接影响分馏塔工况及各产品质量。液位过高,重沸器内液相汽化空间过小,会使塔底温度不易升高,塔底液相汽化量过小;液位过低,容易造成轻组分随塔底液相进入轻烃储罐,轻烃产品质量不合格及轻烃储罐超压事故,因此需仔细控制重沸器液位,精心调节,保持重沸器液位稳定。

根据以上控制措施进行雅站分馏塔最终参数调整,见表1。

表1 雅站分馏塔参数变化表

参数	调整前数值	调整后数值
塔顶压力 /MPa	1.30	1.35
塔顶回流量 /($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$)	12	10
塔顶温度 / $^{\circ}\text{C}$	61.0	63.5
塔底温度 / $^{\circ}\text{C}$	151	155
重沸器液位 /mm	800	800

4 结论和建议

通过对雅站分馏塔关键参数的优化调整,根据分馏塔各参数变化趋势及塔内各产品分析化验报告显示:分馏塔塔内各产品质量均控制在正常范围内,分馏塔各关键参数波动较小,达到了预期目的,产品质量满足工艺要求,分馏塔保持平稳运行。

分馏塔超负荷运行引起产品质量及工况波动时,应根据进塔物料的组分、流量,找出影响分馏塔性能效率的根本原因,并从回流量、塔顶温度、塔压、塔底温度等方面综合考虑,以产品组分分析报告为辅助,逐步调整影响分馏塔气液相负荷的关键参数,使分馏塔的运行达到较理想的状态。

参考文献:

- [1] 杨刚, 刘海波, 杨泉, 等. 雅站凝析油稳定塔液泛原因分析及防范对策[J]. 石油化工设备技术, 2018, 39(2): 48-51.
Yang Gang, Liu Haibo, Yang Quan, et al. Cause Analysis on the Flooding of Condensate Oil Stabilizer and the Countermeasures [J]. Petro-Chemical Equipment Technology, 2018, 39(2): 48-51.
- [2] 张玉蕾, 江玉发, 梁根生, 等. 雅克拉集气处理站节能新举措[J]. 中外能源, 2012, 17(12): 83-88.
Zhang Yulei, Jiang Yufa, Liang Gensheng, et al. New Energy Saving Measures Taken by Yakela Gas Gathering and Processing Station [J]. Sino-Global Energy, 2012, 17(12): 83-88.
- [3] 温韶霞, 魏旭, 刘国栋. 稳定塔液泛控制的探究[J]. 科技创业家, 2014(6): 138.
Wen Shaoxia, Wei Xu, Liu Guodong. Research on the Flooding Control of Stabilizer [J]. Technological Pioneers, 2014(6): 138.
- [4] 左美兰. 新型浮阀塔板水力学性能的研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2009.
Zuo Meilan. Study on Hydraulic Performance of New Valve Tray [D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2009.
- [5] 王少锋. 塔板水力学计算研究[D]. 青岛: 青岛科技大学, 2014.
Wang Shaofeng. The Research of the Tray Hydraulics Calculation [D]. Qingdao: Qingdao University of Science & Technology, 2014.
- [6] 王新星. 榆林天然气处理厂甲醇再生塔运行参数优化研究[D]. 西安: 西安石油大学, 2011.
Wang Xinxing. Study on Optimizing Methanol Regeneration Column of Yulin Natural Gas Processing Plant [D]. Xi'an: Xi'an Shiyou University, 2011.
- [7] 时钧, 汪家鼎, 余国琮, 等. 化学工程手册[M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 1996.
Shi Jun, Wang Jiading, Yu Guocong, et al. Chemical Engineering Handbook [M]. 2nd ed. Beijing: Chemical Industry Press, 1996.
- [8] 马全忠. 隔离相变薄液层精馏塔板的初步研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2007.
Ma Quanzhong. Preliminary Study on Thin Layer Plate of Rectifying Tower with Isolated Phase Transform [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2007.
- [9] 赵鑫辉, 王娟娟. 烃处理静设备常见故障处理[J]. 中国石油和化工标准与质量, 2013, 33(17): 246.
Zhao Xinhui, Wang Juanjuan. Treatment of Common Faults of Hydrocarbon Processing Equipment [J]. China Petroleum and Chemical Standard and Quality, 2013, 33(17): 246.
- [10] 熊楚安, 赵璞. 塔板结构参数对负荷性能曲线的影响[J]. 化工设计, 2003, 13(6): 14-16.
Xiong Chu'an, Zhao Pu. Effect of Plate Structural Parameter on Performance Curve and Its Applications [J]. Chemical Engineering Design, 2003, 13(6): 14-16.
- [11] 刘德新. 精馏塔板气液两相流体力学和传质 CFD 模拟与新塔板的开发[D]. 天津: 天津大学, 2008.
Liu Dexin. CFD Modeling of Hydraulics and Mass Transfer of Distillation Trays and Experimental Studies of New Tray [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.
- [12] 李钊. 新型固定阀塔板的流体力学和传质性能研究[D]. 北京: 北京化工大学, 2008.
Li Zhao. Study on Hydrodynamics and Efficiency Performance of New Fixed-valve Tray [D]. Beijing: Beijing University of Chemical Technology, 2008.
- [13] 刘国标. 新型塔结构的优化及其两相流与传质性能的改进[D]. 天津: 天津大学, 2003.
Liu Guobiao. Optimization of Novel Column Tray Structure and Improvement of Gas-Liquid Two Phases Flow and Mass Transfer Performances [D]. Tianjin: Tianjin University, 2003.
- [14] 乔英云. 合成气一步法直接合成二甲醚分离工艺和分离设备的研究[D]. 太原: 太原理工大学, 2010.

- Prospects of Oil and Gas Potentials in Vendian Terrigenous Rocks in the Western and Southwestern Parts of the Nepa-Botuoba Anticline [J]. Bulletin of Irkutsk State University, Series Earth Sciences, 2011, 4 (1): 173 - 189.
- [20] Lebedev M V, Moiseev S A, Topeshko V A, et al. Stratigraphy of Vendian Terrigenous Deposits in the Northeast of the Nepa-Botuobiya Anticline [J]. Russian Geology and Geophysics, 2014, 55 (5-6): 691 - 703.
- [21] Pushkareva M M, Khabarov E M, Varaksina I V. Lithological Characteristics of the Parfenov and Botuobin Productive Horizons of the Vendian of the Angara-Lena Step and the Nepa-Botuobic Anticline [J]. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University-Earth Sciences, 2013, 323 (1): 15 - 27.
- [22] Gubina E A. Perspective Objects for Oil and Gas Prospecting in the Vendian-Lower Cambrian Carbonate Rocks of the Nepa-Botuoba Anticline [J]. Petroleum Geology-Theoretical and Applied Studies, 2012, 7(3): 1 - 12.
- [23] Postnikova O V, Kitaeva E A, Repin M O. The Influence of the Secondary Transformations on the Formation of Reservoir Properties of the Osa Horizon of the Nepo-Botuoba Anticline [J]. Geology, 2012, 11: 24 - 27.
- [24] Shemin G G. The Eremin-Chona Petroleum Accumulation in the Vendian Preobrazhensky Carbonaceous Horizon, Nepa-Botuoba Petroleum Province, As the Largest Object for Hydrocarbon Material Development and Production in Proximity to the East Siberia-Pacific Ocean Pipeline [J]. Petroleum Geology, 2010 (1): 40 - 52.
- [25] Margulis L S, Semenov V P, Rodina T V. Interpretation of Lithological Hydrocarbon Traps Distribution in the Vendian Terrigenous Deposits of The Northwest of Nepa-Botuoba Anticline [J]. Petroleum Geology-Theoretical and Applied Studies, 2015, 10 (2): 1 - 15.
- [26] Varlamov A I, Larkin V N, Kopilevich E A, et al. Forecasting of New Oil and Gas Accumulation Zones in South-Western Part of Siberian Platform [J]. Oil and Gas Journal Russia, 2013 (1): 5 - 11.

(上接第 45 页)

- Qiao Yingyun. Research on the Separation Process and Equipment of Dimethyl Ether Dired Synthesized from Coal-based Syngas [D]. Taiyuan: Taiyuan University of Technology, 2010.
- [15] 陈 红. 部分回流条件下十字旋阀塔板传质性能研究 [D]. 上海: 华东理工大学, 2014.
- Chen Hong. The Study of Mass Transfer Performance for the Cross-type Valve Tray at Partial Reflux [D]. Shanghai: East China University of Science and Technology, 2014.
- [16] 张 春. 南海荔湾气田浮式 LNG 预处理技术研究 [D]. 青岛: 中国石油大学, 2011.
- Zhang Chun. Studies on Floating LNG Pretreatment Technology of Liwan Gas Field in the South China Sea [D]. Qingdao: China University of Petroleum (EastChina), 2011.
- [17] 曾 宏. 乙酸甲酯水解萃取精馏与催化精馏耦合工艺研究 [D]. 福州: 福州大学, 2003.
- Zeng Hong. Study on Coupling Technology of Extractive Distillation and Catalytic Distillation in Hydrolyzation of Methyl Acetate [D]. Fuzhou: Fuzhou University, 2003.
- [18] 余振江. 煤气化过程高浓度酚氨污水化工处理流程开发、模拟与工业实施 [D]. 广东: 华南理工大学, 2011.
- Yu Zhenjiang. Process Development, Simulation and Industrial Implementation of a New Coal-Gasification Wastewater Treatment Installation to Remove Phenols and Ammonia [D]. Guangdong: South China University of Technology, 2011.
- [19] 江 山. 双层旋流式高速塔水力学性能研究 [D]. 大连: 大连理工大学, 2015.
- Jiang Shan. Research on Performance of Hydrodynamics of Double Swirl-Flow High-Velocity Column [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015.
- [20] 杨 娜. 新型固定阀塔板的流动与传质耦合模型 [D]. 天津: 天津大学, 2014.
- Yang Na. The Flow and Mass Transfer Coupled Model for the New Fixed Valve Trays [D]. Tianjin: Tianjin University, 2014.