

甲醇制烯烃装置再生立管存在的问题及解决措施

赵亚伟*, 苟荣恒, 潘海涛

(国能新疆化工有限公司, 新疆 乌鲁木齐 831400)

摘要: 甲醇制烯烃(MTO)装置催化剂循环回路的下行流动部分是再生立管,操作复杂性在于立管内催化剂的流态受多种因素影响。某0.60 Mt/a MTO装置投产运行7年,期间一直存在再生立管催化剂输送下料不畅的问题,反再两器运行参数波动幅度宽,工艺工况复杂多变,无法实现100%自控率,操作人员劳动强度大,产品收率降低,能耗、剂耗增加。根据现有调节措施和临时故障处理方法,只能通过调整再生立管松动风来维持短暂立管正常下料。从再生立管上下串联设备影响、再生立管整体设计、介质流化状态、工艺操作等方面出发,对再生立管生产运行瓶颈产生的原因进行分析,确定影响再生立管高效运行的症结所在。根据问题的剖析提出改进建议,为再生立管后续升级改造提供合理的理论支持和指导判断。

关键词: 甲醇制烯烃;再生立管;流态;下料

中图分类号:TQ221.2;TQ426

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2024)03-0230-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2024.03.041

Problems of regeneration riser in methanol to olefin plant and solutions

ZHAO Ya-wei*, GOU Rong-heng, PAN Hai-tao

(Xinjiang Chemical Company Limited, CHN Energy, Urumqi 831400, China)

Abstract: The regeneration riser is the downstream part of the catalyst circulation loop of methanol to olefin plant (MTO), and the complexity of its operation lies in the fact that the flow pattern of the catalyst in the riser is affected by many factors. A 600,000 t/a MTO plant has been put into operation for seven years, and there has always existed the problem of poor transportation and feeding of regeneration riser catalyst. The operating parameters of the reactor and regenerator fluctuate widely, and the process conditions are complex and changeable, so it is impossible to achieve 100% automatic control rate. The operators work hard, the product yield remains low, and the energy consumption and agent consumption are increased. According to the existing adjustment measures and temporary fault handling methods, only by adjusting the loose wind of the regeneration riser can the normal baiting of the riser be maintained for a short time. This paper analyzes the causes of the bottleneck in the production and operation of the regeneration riser from the aspects such as the influence of the upper and lower series equipment, the overall design of the regeneration riser, the fluidization state of the medium and the process operation. Hence the crux of the problem affecting the efficient operation of the regeneration riser is found and determined. According to the problem analysis and improvement suggestion, it provides reasonable theoretical support and guidance for the subsequent upgrading and reconstruction of the regeneration riser.

Key words: methanol to olefin; regeneration riser; fluid pattern; baiting

目前工业化的几种甲醇制烯烃(MTO)工艺均采用连续反应-再生的气固循环流化技术^[1-3]。反应器和再生器之间的催化剂输送通过立管进行,输送立管是催化剂循环回路的主要组成部分之一。立管^[4]承载着反应器与再生器之间待生催化剂和再生催化剂的输送,调节剂/醇和剂/风比保障催化剂结焦/烧焦的连续性。立管输送催化剂操作有2种:一是密相输送,颗粒在少量气体松动的流化状态下进行集体运动,并不靠气体使它加速,固体的移动是靠静压差来推动的;二是稀相输送,固体颗粒在流体中形成悬浮状态的稀相,并与流体从床层或立管中

一起夹带出去。

1 装置操作简介

图1为该装置反应再生系统结构示意图。反应器和再生器采用同轴布置,再生器在上为湍流床,反应器在下为流化床,反应器和再生器采用连续循环流化反应和再生技术。200℃气态甲醇自反应器底部经甲醇进料分布板与催化剂充分均匀接触,产生富含乙烯和丙烯的烯烃混合气,随反应时间延长催化剂逐渐结焦失活,失活后的高积炭待生催化剂进入待生汽提器脱出裹挟的反应气,汽提后的待生剂

收稿日期:2023-05-06;修回日期:2024-01-02

作者简介:赵亚伟(1989-),男,本科,工程师,主要从事甲醇制烯烃技术领域设备管理,通讯联系人,1304174119@qq.com。

上涨。通过不断调试再生立管脱气线上几支松动点风量,再生立管下料波动频率有所改善但仍在周期性波动,波动期间及时大幅度开关再生滑阀及调整水平输送蒸汽量,减少再生催化剂在斜管下料流动过程中产生黏附滑移流动和“架桥”,尽量控制两器循环量维持相对平稳状态,再生立管出现催化剂输送不畅的问题已成为装置高效运行的瓶颈^[8]。

3 再生立管波动原因

3.1 再生汽提器溢流能效低

再生器标高 66.9 m,分为密相段、过渡段、稀相段。再生汽提器总长 6.1 m,标高 52.4 m,位于再生器稀相段。汽提器内部设置 4 组斜 45° 格栅,用于改善汽提介质与催化剂的接触,提高汽提效果,汽提器上部溢流段圆周均匀分布 40 个 600×40 mm 长孔,溢流长度 800 mm,再生器处于低藏量 58 t 左右时再生催化剂无法完全到达汽提器溢流口,进入再生立管的催化剂形成脉冲式进料,并伴随有大气泡涌入汽提器,使得汽提器溢流效率降低,如图 3。

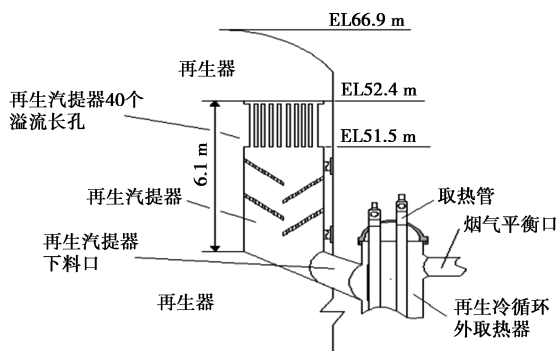


图 3 再生汽提器位置简图

3.2 再生冷循环外取热器容积限制

再生冷循环外取热器容积 17.8 m³,内部设置 12 组取热管,取热管容积约占 5 m³,剩余空间 12.5 m³,反再两器催化剂循环量为 40~55 t/h,再生器藏量高于 65 t 时,汽提后的再生催化剂经再生冷循环外取热器时因流通空间体积太小,导致催化剂单位时间内通过流量降低产生瞬时堆积,进而造成后路再生立管出现架桥、噎塞、气节、滞流、腾涌、倒窜气,再生催化剂不能按预定下行方向稳定地流动。

3.3 松动风调节余量低

再生立管上下共 5 支松动点,再生立管直管段设置 C1、C2、C3 3 支松动风,滑阀前后设置 C4、C5 2 支松动风,脱气线垂直段设置 C6、C7 2 支松动风,如图 2 所示。所有松动点线路均有限流孔板来控制松

动风流量和流速。再生立管内催化剂脱出的气体体积等于松动风流量时,催化剂流态处于鼓泡床。再生立管通入的松动风体积大于脱出的气体体积时,立管内气泡体积增大,气泡形成连续相、乳化相、分散相^[9],最后形成腾涌床^[10-12],造成立管架桥。再生立管通入的松动风体积小于脱出的气体体积时,给气不足的地方空隙率下降,立管内催化剂密度最终将接近堆积密度形成填充流。再生立管下料不畅时,通过反复调节或单独关闭 5 支松动风的某一两支,下料不畅问题会在短期内改善,但一段时间后稳定下料工况平衡点又会被打破,5 支松动风之间调节无法稳态配比输出。

3.4 松动点数量及夹角不合理

再生立管拐弯处的流动形态比较复杂,催化剂密度分布不均匀,催化剂在流动时易形成“节状流”,但在颗粒质量流率较大的再生立管斜管段未设置松动点。松动点与再生立管的夹角是按催化剂下行流动波方向设置的,其夹角大小应考虑气体射流、扩散、喉管^[13]等因素,合理的夹角有利于催化剂流动,可避免在管线截面形成喉管式流。再生立管 C2、C6、C7 3 支松动风垂直于管线布置,不仅会对立管及脱气线中上行的气体形成“气墙”封锁,还会造成气体逆行返回至再生立管,对正常下行的催化剂形成气阻造成“堰塞”截流。

3.5 脱气线、流化线交叉返混

下部流化环管气体量 455 m³/h,斜坡松动氮气体量 23 m³/h,再生立管松动点 C3 气体量 93 m³/h,滑阀前后松动点 C4、C5 气体量均为 154.2 m³/h。立管内气泡分 2 部分返回再生冷循环外取热器底部,一部分经再生立管中部脱气线顺流上行,一部分逆流贴近下料斜管上壁面形成气流通道的进入再生冷循环外取热器底部,与流化环气体和斜坡松动气体汇合,形成 4 股质量流率各不相同的气体分别作用于再生冷循环外取热器下料口催化剂。4 股气体与再生冷循环外取热器下行的催化剂交叉撞击产生比较大的偏流,最终经再生冷循环外取热器顶部烟气平衡线进入再生器。再生冷循环外取热器底部形成了不稳定的阵发式下料,无法建立起有效的蓄压料柱,立管输送状态起伏波动大,也是再生立管周期性机械振动的激振源。

3.6 再生催化剂输送偏流

3.6.1 再生立管东西两侧分支温度偏差

利用红外线热成像仪对正常运行时再生立管东西两侧分支同梯度不同点位 1~5 进行测温,得到

表2结果,可以发现,相同梯度位置东侧立管分支比西侧立管分支高15~25℃。再生立管堵塞下料不畅时,都伴随西侧立管分支温度骤降,基本判断西侧立管分支堵塞。通过反复调整西侧立管分支水平输送蒸汽量及敲打震击管壁才能使下料缓慢恢复正常。

表2 再生立管东(西)侧分支温度分布表

项目	再生立管东侧分支测温/℃	再生立管西侧分支测温/℃
点位1	165	143
点位2	170	155
点位3	175	160
点位4	171	145
点位5	164	137

3.6.2 再生催化剂分布器流阻偏差

再生催化剂分布器采用管式新型催化剂分布器,分布器下部对称开有方形孔,东侧和西侧2支分布器在反应器一二层格栅之间平行布置,消除了高温再生催化剂直接进入反应器易形成的局部热点,保证高活性再生催化剂在反应器床层内的均匀分布,建立良好的催化剂流态化床层减少了副反应的发生。再生催化剂分布器标高17.15 m,直径 $\phi 335$ mm,待生汽提器方位处于东侧分布器中部位置,待生汽提器下料口标高16.3 m,直径 $\phi 1\ 300$ mm,东侧分布器距离待生汽提器下料口直线距离2.8 mm。再生催化剂经东侧分布器到达反应器密相床层后,将床层部分未参与反应或结焦不完全的再生催化剂向前推至汽提器下料口旁被吸入待生汽提器内,经待生立管快速稀相输送进入再生器烧焦,致使东侧分布器下料的循环量加大,再生催化剂置换率加快。而床层西侧分布器远离待生汽提器下料口,再生催化剂下料速率小于东侧分支,反应器密相区西侧床层高度高于东侧,局部偏流破坏床层压降分布,进而发生再生立管西侧分支堵塞频率远高于再生立管东侧分支,如图4。

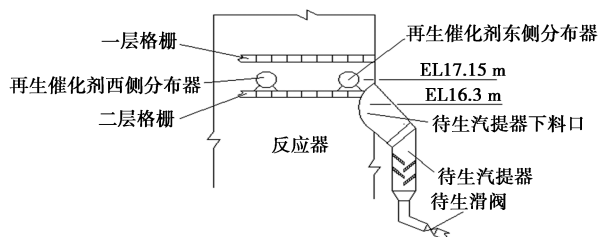


图4 待生汽提器与再生催化剂东(西)侧分布器位置简图

3.7 再生立管水平输送蒸汽稳定性差

再生立管东西两侧分支水平输送介质为低压蒸汽,压力0.9~1.1 MPa,温度190~230℃,低压蒸汽经一组控制阀组后分2路,利用现场手阀分别调控东西两侧立管分支水平输送蒸汽量,如图2所示。西侧分布器流通不畅时,水平输送蒸汽局部产生凝点与立管内催化剂“和泥”。低压蒸汽温度、压力、流量发生波动时,2支水平输送蒸汽工况发生变化,再生立管催化剂空隙率以及已建立好的稳态流被打破,催化剂循环量稳定性差。当西侧立管分支下料不畅时,水平输送蒸汽量无法及时跟进调整,分布器内密相输送变为稀相输送,分布器内部衬里磨损速率加快,造成分布器局部穿孔失去催化剂均分作用,加大了反应器床层扰动和偏流。

3.8 再生立管分配器偏流

再生滑阀设计开度为20%~40%,设计推动力为10~100 kPa, P_s 为再生滑阀前压力, P_o 为再生滑阀出口压力,再生滑阀压降 $\Delta P = P_s - P_o$,滑阀压降大小表明再生立管的推动力、料封能力和滑阀调节催化剂循环量的能力^[14]。滑阀前堆积的再生催化剂从阀板与阀座圈一侧开口位置快速通过,催化剂不断碰撞壁面,继而又反弹,催化剂在分配器中呈“S”型轨迹运动。再生立管东西两侧分支下料口正对分配器导流锥,再生滑阀下料口到导流锥总长仅1.3 m,下料缓冲区很短,造成大量再生催化剂直接被壁面碰撞反弹至西侧(或东侧)立管分支下料口内,而从再生立管东(西)侧分支下料口下行的再生催化剂质量流率明显下降,造成再生立管东西两侧分支催化剂下料无规则偏流,管线无规律振动,管壁无定向冲刷磨损加剧。

4 再生立管优化改进措施

4.1 调整工艺操作

再生立管平稳下料影响因素包括反再两器差压、两器藏量、反应空速、主风流量及压力、流化提升和松动介质的温度、压力、流速等,通过采用单变量分析的方法,汇总不同操作条件下再生立管的密度、滑阀压降的变化,判断立管内催化剂的流态以及影响因素,得到再生立管最佳运行工况的参数。

4.2 改造立管松动点分布

在再生立管斜管^[15]段增加2支斜45°松动点C8、C9,如图2所示。根据中国石油大学(北京)研究及实际应用经验,再生立管上共7支松动点并按照对再生催化剂流动影响可分为敏感松动点和一般

松动点分类^[16]。一般把管线拐弯处、变径处以及滑阀上的松动点确定为敏感松动点,其余为一般松动点。查文献^[9]可知,敏感松动点的给风量为一般松动点的 2~6 倍。再生立管松动点做如下调整:将再生滑阀前第一个松动点 C4,即敏感点风量给至最大。关掉 C1、C2 2 支松动点,使松动点间距不至于太密。C3、C5 2 支松动点风压依次为 0.29、0.38 MPa,从上到下气体被压缩量逐渐增加,因此补充风量也逐渐加大。C8、C9 2 支敏感松动点风压为 0.54~0.71 MPa。松动点的设置包括 3 个方面:松动点位置的布置原则、松动风量的计算及分配、限流孔板的计算。

4.3 改变脱气线出口位置及松动点夹角

将再生立管脱气线出口上移并入再生冷循环外取热器烟气平衡线出口,避免脱气线内湍流气体对再生冷循环外取热器底部再生催化剂下料产生扰动。将脱气线上 C6、C7 2 支垂直松动点改为向上倾斜,与脱气线夹角在 30°~60°之间,松动点风压依次为 0.20、0.26 MPa,保证脱气质量及脱气线的脱气效率。

4.4 再生立管水平输送蒸汽合理配比及品质升级

在再生立管东西两侧分支水平输送蒸汽线上各加一组控制阀组,代替原有手阀调节,再生立管东西两侧下料口下方各加一组催化剂密度计。再生立管东侧(西侧)分支的密度计与其水平输送蒸汽线控制阀组形成串级控制,根据密度的变化自动调整水平输送蒸汽量,保证催化剂在再生立管水平输送中为散式流化且按预定方向稳定地输出。并将低压蒸汽温度提高至 300℃ 以上,避免“和泥”现象的发生。

4.5 改进再生立管分配器料位堆积高度

延长再生滑阀出口至分配器导流锥的长度,导流锥内通入一定量的流化风,导流锥曲面均匀开小孔。催化剂通过再生滑阀后,在导流锥环状提升风作用下形成有效的平分溢流,避免穿过再生滑阀后的催化剂向再生立管东(西)侧分支下料口偏流,使再生立管东西两侧分支下料口分配的催化剂质量流率^[17-18]趋于均分。

5 改变再生冷循环外取热器结构设计

将再生冷循环外取热器内 12 组取热管整体体积缩小,扩大再生冷循环外取热器剩余容积,为反再两器催化剂循环量提供余量空间。但再生催化剂下料温度会受影响,可以将 12 组取热管改为带翅片的

单元套管,取热管外壁的翅片大大增加了传热面积,达到光管面积的 2.5~3.2 倍,同时也增加了再生催化剂颗粒与取热管翅片碰撞的机会,翅片又对再生催化剂中气泡起到破坏作用,减小大气泡聚集^[19-20]对再生催化剂下行的阻碍。

6 合理调整待生汽提器溢流口高度

在待生汽提器下料口处增加一定高度的溢流料斗,提高反应器流化床层催化剂进入待生汽提器的溢流高度,增加气相甲醇与再生催化剂的接触效率。经再生催化剂东侧分布器进入反应器的再生催化剂与密相床层催化剂充分均匀混合,结焦完全后再溢流到待生汽提器经待生立管至再生器烧焦,更好控制反再两器藏量,保证整体循环量高效持续运转。

7 结论

甲醇制烯烃技术是新型获取低碳烯烃的技术,该技术工业化时间尚短仍存在一些亟待解决的问题。通过对该装置再生立管流动问题的分析、工艺参数调整,松动风量优化,短期内解决了再生立管下料受阻的问题。当然要从根本上解决下料难题,还要将问题归结为再生立管入口进料不畅、立管内流态转变、斜管内流态稳定性差、脱气线几何结构^[21]不合理、出口排料阻碍、反应器密相床层偏流、松动风设计缺陷、负压差过大等原因,并以此探讨进行改造的措施,攻克制约再生立管高效运行“卡脖子”的难题。

参考文献

- [1] 马伯文.催化裂化装置技术问答[M].北京:中国石化出版社,2010.
- [2] 陈俊武,许友好.催化裂化工艺与工程(下册)[M].3版.北京:中国石化出版社,2015:917-920.
- [3] 卢春喜,王祝安.催化裂化流态化技术[M].北京:中国石化出版社,2002:120-122.
- [4] 彭威,王进,齐宏伟,等.FCC 再生立管输送催化剂不畅的原因分析[J].石油炼制与化工,2018,49(5):22-26.
- [5] 曹晓阳,孔文文,贾梦达,等.FCC 催化剂在 45°斜管内下料特性的实验分析[J].石油学报:石油加工,2016,32(6):47-54.
- [6] 王创博,石睿捷,马玲,等.斜管内 FCC 催化剂流态与阀门开度关系的实验研究[J].石油学报:石油加工,2019,35(1):146-152.
- [7] 唐泉.两再生器同轴布置 FCC 装置再生器料位控制难的原因[J].炼油技术与工程,2007,37(9):1-6.
- [8] 郑从武.广石化催化裂化装置催化剂流化异常现象及其对策[J].石油炼制与化工,2005,36(6):35-38.

(下转第 239 页)