

催化裂解装置再生器稀相超温的原因分析及防治措施

杜立东（中海油东方石化有限责任公司，海南 东方 572600）

摘要：通过对催化裂解装置再生器稀相超温现象的各相关操作参数的分析，找到了超温产生的原因，在装置停工检维修前，通过调整优化生产操作，部分缓解了超温带来的不利影响，保证了安全生产。

关键词：快速床流化；尾燃；边部挡板；空洞；大孔分布板

1 装置概况

120 万 t/a 催化裂解装置，采用中国石油化工科学研究院开发的专利技术，由中国洛阳化工工程公司设计。该技术以轻质常压渣油为原料，以乙烯丙烯等低碳烯烃为主要目的产品，为下游苯乙烯和丙烯腈等化工装置提供原料。该装置的再生系统采用快速床 + 湍流床主风串联再生技术（前置烧焦罐 + 再生器）。该再生技术是我国催化裂化工程的专利技术，已经有了 20 多年的运行经验，快速床流化（烧焦罐）的特点是细粉催化剂在高于其自由沉降速度下操作，强化了气 - 固的接触，克服了细粉在鼓泡床中传递速率低的缺点，大幅度提高了烧焦效率^[1]。由于烧焦罐流化状况极大地改善了气体传质条件，使其具有很高的烧焦强度；再生器利用烧焦罐再生后的富氧烟气通过低压降大孔分布板形成湍流床，改善了再生床层的气体扩散，从而提高了再生器的烧焦强度。

2 再生器稀相超温的现象

该装置 2014 年 2 月首次开工一次成功后，再生器操作一直都很正常，各个操作参数都在工艺指标范围以内，装置于 2017 年 4 月 6 日按计划停工检修，5 月 17 日开工喷油后即出现了再生器稀相尾燃超温现象：①再生器稀相温度 TI-10113AC 超温；②一级旋风分离器入口温度 TI-10112ABC 超温；③再生器集气室温度 TI-10111 和烟机入口温度超温。

3 再生器稀相超温带来的不利影响

①对再生器内构件（如旋风分离器）和烟机等关键设备构成威胁，影响装置安全生产，尾燃现象严重时，再生器稀相温度达到 755℃，烟机入口温度达到 720℃，装置不得不采取关小烟机入口蝶阀和降量处理等措施；②装置无法提高生产负荷，后续化工装置无法满负荷生产，企业效益大打折扣；③为减轻尾燃带来的危害，只能被动增加 CO 助燃剂的加入量，加入量由正常生产时的 20kg/d（设计值）提高至 40kg/d，严重时需 60kg/d，增加了生产成本。

4 再生器稀相超温现象的原因分析

4.1 测量仪表问题

观察装置开工过程中两器引主风后点炉前（5 月 11 日）和装催化剂前（5 月 15 日），再生器各温度测量

均在正常温差范围内，说明各热偶工况基本正常，再生器稀相温度 TI-10113ABCD 和一级旋风入口温度 TI-10112ABCD 出现温差是在再生器装催化剂（5 月 16 日）以后，说明是催化剂的存在引起了稀相超温，不存在热电偶温度测量误差等引起人为判断失误。

4.2 部分一级旋风分离器工况不正常导致再生器密相料位不均

本装置再生器旋风分离器为 2 级 12 组设置，部分一级旋风分离器工况异常会造成料腿下料不均匀，有可能造成再生器密相料位高低不平，从而导致主风偏流引起主风穿透密相床层，考虑到开工以来装置催化剂单耗低于设计值，因此可以排除旋风分离器故障的原因。

4.3 主风流量过低导致偏流

过低的主风流量会导致主风在通过烧焦罐和大孔分布板时线速过低，造成催化剂滑落返混，据此开工后本装置尝试过 3100~3400Nm³/min 各种主风流量的生产操作条件，再生器稀相超温现象都没有改善迹象，且能从双动滑阀和烟机入口蝶阀开度以及烟气氧含量等参数判断出主风流量的真实性，同时，平衡剂多次分析粒度分布也在正常范围以内，而且从 2014 年 2 月装置首次开工到今年此次开工前这段生产期间内，再生器并没有出现过稀相尾燃现象，因此主风流量过低导致偏流的原因可以排除。

4.4 外循环管流化不稳定，烧焦罐烟气倒窜造成再生器稀相尾燃

再生器外循环管流化状态受松动风配置不合理等因素影响，滑阀上方料封会出现波动，滑阀前后差压过低时会造成少量烧焦罐烟气倒窜，造成再生器稀相尾燃，但如果这种现象只是单方面存在不会造成严重的尾燃现象。

4.5 再生器与主风分布相关的内构件损坏造成主风偏流

本装置再生器内与主风分布密切相关的内构件有大孔分布板和主风分布管，大孔分布板和主风分布管在此次大修期间作为重点检修对象，已经进行了认真检查（未发现有比较严重的问题）和缺陷修复，且在开工过程中两器升温阶段也没有出现超温超流量等现象，因此大孔分布板和主风分布管在如此短的时间内出现问题可

能性较低。至于其他与主风分布相关的内构件就只有主风分布管周围的边部挡板了：边部挡板也叫环形挡板，它是用 16 块宽 190mm 长 1500mm 的弧线型平面板材，紧贴安装在主风分布管周围的烧焦罐器壁上，主要起到阻挡主风沿烧焦罐器壁上升的作用。如果部分松脱或变形，也会造成主风偏流。因为此设备为附件，一般不会作为重点检查对象，在检修期间容易被忽略。

5 再生器稀相超温现象过程的论证

为了便于论证，本文先假设一个再生器尾燃现象发生的过程：主风分布管或其他周边设备出现问题，一部分主风高速通过烧焦罐和大孔分布板，并在再生器密相（也就是大孔分布板上方）形成一个空洞，造成再生器密相料位虚假上涨，此时大孔分布板压降下降，这股携带高 CO 含量和高定碳含量催化剂的烟气进入再生器稀相后在稀相发生尾燃，导致该方位上方稀相温度上升，其他位置稀相温度下降，随着再生器密相料位的上升，这时候流入外循环管和外取热器的催化剂增多，导致外循环管输送风因被催化剂压制而减少以及外取热滑阀压降上升；当再生器密相料位虚假上涨到一定高度，空洞周围的催化剂出现坍塌，堵住了空洞，此时就出现了与上述现象相反的情况。

图 1 是本装置出现再生器稀相超温现象后有关操作参数的历史趋势对比图：

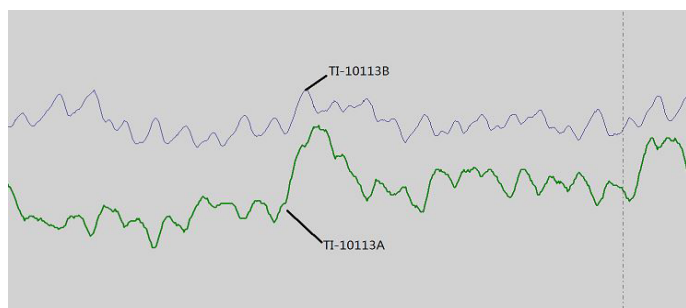


图 1 再生器稀相温度 TI-10113AB 历史趋势对比图

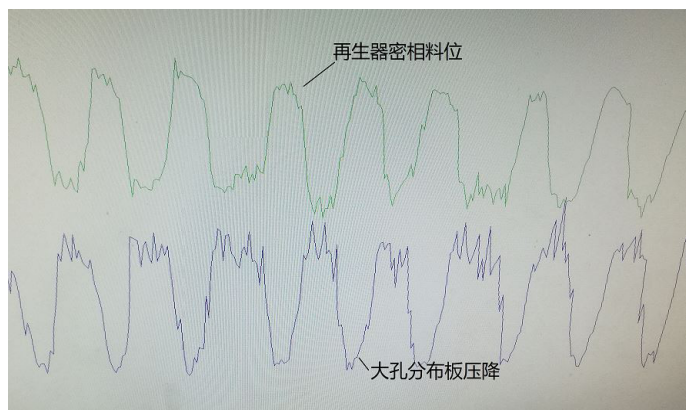


图 2 大孔分布板压降和再生器密相料位历史趋势对比图
对照图 1 可以知道再生器稀相温度 TI-10113AB 为

再生器稀相水平方向对应两点，它们变化的趋势正好为同周期反向变化。

大孔分布板压降和再生器密相料位变化的趋势正好同样为同周期反向变化（如图 2）。

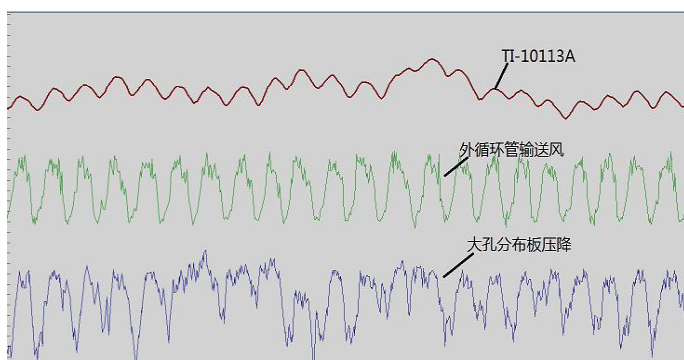


图 3 TI-10113A 大孔分布板压降和
外循环管输送风流量历史趋势对比图

再生器稀相 TI-10113A、大孔分布板压降和外循环管输送风流量三个参数同周期变化规律同样明显（如图 3）。

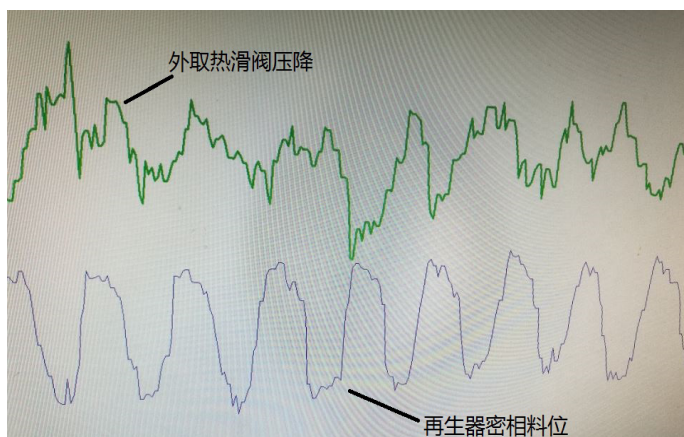


图 4 外取热滑阀压降和再生器密相料位历史趋势对比图
外取热滑阀压降与再生器密相料位同周期波动的趋势也较明显（如图 4）。

经过以上分析，说明了本文事先假设的再生器稀相尾燃现象发生过程的推断是正确的，从而也可以推断出边部挡板部分松脱或变形导致主风偏流是再生器稀相发生尾燃的最大可能。

那么究竟是哪个方位的环形挡板出现了松脱或变形，本文接着分析：

① TI-10113AC 明显高于 TI-10113BD，说明尾燃开始于再生器稀相 TI-10113AC 那一侧；而且从表 1 和图 1 对照可以看出：主风偏流明显影响到了外循环管和外取热器的下料，查看第一和第二再生斜管的下料情况没有受到影响，据此也能判断出尾燃开始于再生器稀相 TI-10113AC 那一侧；

②对照表 1 和图 2 可知一级旋风分离器入口温度 TI-10112A 正好位于 TI-10113AC 上方, 温度明显偏高(尾燃所致), 烧焦罐底部温度 TI-10118A 正好位于下方, 温度明显偏低, 可以判断为因该处下方的边部挡板出现了松脱或变形, 主风沿烧焦罐器壁上升降低了上方的 TI-10118A 方向的温度;

③同样对照表 1 和图 3 还可以发现: TI-10118A 上方两侧的温度 TI-10116AB 和 TI-10117AB 没有出现异常, 说明 TI-10118A 下方的偏流上升的主风还没有影响到该处。

结合以上 3 点可以基本推断出以下结论: TI-10118A 下方出现了松脱或变形的边部挡板, 数量为 2~4 块。但由于这个推断所基于的数据变化, 与复杂的生产实际相比只不过是冰山一角, 设备的真实状况必须等到检修时打开设备之后。

表 1 再生器热电偶分布方位表

仪表编号	标高 mm	方位°			
		A	B	C	D
TT-10111	47650				
TT-10112ABCD	42284	210	330	30	120
TT-10113AB	39284	230	50		
TT-10113CD	33500			230	50
TT-10114AB	27200	140	320		
TT-10115AB	25830	140	320		
TT-10116ABC	21300	180	300	60	
TT-10117ABC	15500	180	300	60	
TT-10118ABCD	11300	220	310	40	140

6 防治措施

问题找到了, 对松脱或变形的边部挡板修复只能等到检修了, 但在装置检修前如何维持安全平稳生产, 怎样弥补边部挡板松脱或变形带来问题, 减缓再生器稀相超温对设备的影响才是目前亟待解决的问题。经过不断努力摸索调整, 找到了以下方法:

6.1 调整外取热下料, 减缓主风偏流

从图 6 可以看出, 松脱或变形的边部挡板在外取热返化剂可以压制沿再生器器壁上升的主风, 缓解偏流。因此降低此处的输送风可以缩短催化剂流动距离, 从而增强对沿再生器器壁上升主风的压制; 另外, 通过调整外取热流化风可以在不改变外取热取热负荷的情况下, 增加外取热返回口催化剂流量, 也能增强对沿再生器器壁上升主风的压制, 减缓主风偏流带来的不利影响。

6.2 优化外循环管流化, 减少烧焦罐烟气倒窜

本装置外循环管为垂直立管, 高温催化剂从大孔分布板上溢流至外循环立管内, 由于溢流口没有脱气设施, 一部分烟气带入外循环立管, 与立管松动介质(非净化风)混合向上沿溢流口返回再生器(本装置再生器外循环管不带升气管), 这样必然对催化剂进入立管和在内管内正常流动产生干扰, 再加上本文前面提到的因主风偏流造成的再生器密相料位波动对外循环管下料的影响, 导致外循环管流化恶化, 下料时断时续, 当外循环管滑阀压降小于催化剂在再生器内正常流动压降(烧焦罐压降+大孔分布板压降+密相床层压降)时, 烧焦罐底的烟气(带有 CO)就会沿外循环管倒窜至再生器稀相, 导致再生器稀相尾燃现象加剧。针对以这个问题主要进行了以下调整:

①调整外循环管松动点(共 10 组)找到最佳流化状态, 在保证外循环管下料量能满足烧焦罐料位和烧焦起燃温度的前提下, 尽可能关小外循环滑阀, 以期在外循环滑阀上方建立足够的料封, 阻止或减少烧焦罐烟气倒窜; ②关小外循环管输送风, 在管底部水平段建立料封, 同样也能阻止或减少烧焦罐烟气倒窜。

6.3 提高再生器密相温度, 提高烧焦强度, 降低 CO 带入稀相的几率

在再生器内构件等相关设备耐温范围内, 适当提高烧焦罐和再生器密相温度, 提高了再生器的烧焦强度, CO 带入再生稀相的几率降低, 有利于减缓稀相尾燃现象。

通过以上 3 个优化措施, “6 月 28 日调整后”的尾燃现象较“5 月 26 日超温”时的尾燃现象已经有了一定程度的缓解: 再生器稀相温度、一级旋风分离器入口温度和烟机入口温度都有了明显的下降, 已经低于旋风分离器和大孔分布板等重要设备耐温上限值(750℃); 在保证平稳生产的前提下, 装置 CO 助燃剂加入量减少至 30kg/d(但仍高于正常加入量), 一定程度上节约了生产成本。

7 总结

①通过对生产操作中再生器各温度测量点、大孔分布板压降、密相料位等相关操作参数变化情况的仔细分析, 找到了再生器稀相超温现象出现的原因及出现故障设备的所在位置; ②在不能对设备缺陷进行检维修的前提下, 通过调整操作参数优化生产, 缓解了再回口的附近, 外取热返回的催生器稀相超温现象, 保证了装置安全生产, 也为以后装置提高生产负荷, 为满足 DCC 后续化工装置高负荷生产打下了基础。

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.