

催化装置 CO 助燃剂过量使用的应对措施

朱益伟（中海油东方石化有限责任公司，海南 东方 572600）

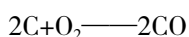
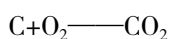
摘要：某催化裂解装置因再生器稀相频繁尾燃，导致 CO 助燃剂使用量出现大幅上升的现象，为保证装置安全运行，通过查找关键原因并加以优化调整，最终减少了稀相尾燃的频次，CO 助燃剂使用量也有所下降。

关键词：CO 助燃剂；烧焦；径向温差；工艺优化；设备损坏

1 背景介绍

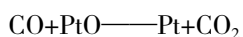
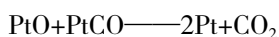
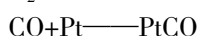
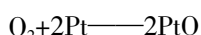
某催化裂解装置采用石科院开发的多产丙烯专利技术（Deep Catalytic Cracking，简称 DCC 技术），反应-再生部分由第一、第二反应器和沉降器以及再生器组成。在反应器内原料油完成升温、汽化及与催化剂反应。反应后含有焦炭的待生催化剂经沉降器通过待生斜管进入再生器下部与主风（空气）混合烧焦。再生器下部为烧焦罐（烧去 90% 的焦炭），上部为二密相（烧去 10% 的焦炭）及稀相。

催化裂化再生器中的主反应为：



前两个反应代表了再生器床层和待生催化剂上的焦炭燃烧反应，第三个反应是焦炭燃烧过程中产生的一氧化碳的燃烧反应。此反应发生在焦炭燃烧产生的烟气中，也能发生在床层、稀相、旋风分离器和烟气系统中。上述 CO 如在稀相或后部设备内燃烧将导致超温现象出现，此时就需在再生器内加入一定量的 CO 助燃剂，使 CO 在再生器密相燃烧以便将多余热量通过取热器取走，有的装置为了促进再生器烧焦也会定期向再生器内加适量的 CO 助燃剂。

铂-一氧化碳助燃剂在再生器内的主反应为：



2 出现的问题及关联因素

本装置助燃剂设计使用量为 18kg/天，自投产以来装置运行参数平稳，助燃剂日均使用量为 16kg，但自 8 月份开始出现再生器稀相频繁尾燃的现象，从而 CO 助燃剂的使用量也逐渐上升，我们对 8 月至 10 月 CO 助燃剂使用量做了统计：

表 1 CO 助燃剂使用量分析表

| 时间（月） | 8 | 9 | 10 |
|-------------|------|------|------|
| 使用量（kg）/月 | 722 | 834 | 754 |
| 使用量（kg）/天 | 23.3 | 27.8 | 24.3 |
| 平均使用量（kg）/天 | 25.1 | | |

从表 1 中可以看出助燃剂加注量在 23.3-27.8kg/天波动，波动幅度较大，平均每天使用 25.1kg，比设计指标高 7.1kg/天，所以急需通过查找造成再生器稀相尾燃的关键原因并通过优化以减少助燃剂使用量。

提取 10 月份加注 CO 助燃剂时再生器内相关参数的变化情况进行详细统计、分析，做出了影响 CO 助燃剂使用量的调查表。

表 2 影响因素调查表

| 影响因素 | 频数（kg） | 累计频数（kg） | 频率 | 累积频率 |
|----------|--------|----------|-------|-------|
| 烧焦罐径向温差大 | 418 | 418 | 55.4% | 55.4% |
| 烧焦罐藏量低 | 210 | 628 | 27.8% | 83.2% |
| 再生器烧焦量 | 63 | 691 | 8.4% | 91.6% |
| 再生器压力 | 33 | 724 | 4.4% | 96% |
| 再生器密相温度 | 20 | 744 | 2.6% | 98.6% |
| 其他 | 10 | 754 | 1.4% | 100% |

从表 2 中可以看出，助燃剂使用量一半以上原因是由于烧焦罐径向温差大所引起的，下面将依据烧焦罐径向四个测温点温度变化情况，对引起径向温差大的主要因素进行分析，从而找到关键影响因素并加以优化。

3 分析主要原因

3.1 再生器内设备

设备故障引起的工艺操作波动，在连续生产装置中出现屡见不鲜。再生器内构件众多，主风分布管、大孔分布板、旋风分离器、待生剂返回分布口、外取热返回分布口、外循环返回分布口等等，以上器件的损坏均可不同程度的导致主风与待生催化剂接触不均烧焦不良从而导致再生器尾燃，但在连续型生产装置中，无法在线进行设备内部维修，设备的原因最终还是需要通过工艺优化以减轻对生产的危害，只有到了无法维持基本操作时，才会考虑停工检修。

3.2 主风量

主风量如果波动较大将会使烧焦罐床层藏量、温度出现相关连性波动，直接影响烧焦罐内待生催化剂烧焦效果，从而导致稀相尾燃现象的出现，调取近期数据分析其波动幅度在 60Nm³/m 以内，参数总体平稳，且主风

小幅波动时也均未出现烧焦罐径向温差变大情况。

3.3 待生斜管催化剂密度

待生催化剂通过待生斜管进入烧焦罐与主风接触烧焦，当斜管密度波动较大时，将会引起进入烧焦罐的待生催化剂输送量相应产生变化，从而影响床层藏量及温度，调取近期数据分析其密度变化区间为 $250\text{--}300\text{kg}/\text{m}^3$ ，趋势相对平稳，且其小幅波动时，烧焦罐内与其对应的温度无明显变化。

3.4 外取热返回管密度

外取热的作用是取走二密相高温催化剂产生的过剩热，取热后的催化剂进入烧焦罐底部。因返回到烧焦罐的催化剂温度相对较低，所以外取热返回管密度变化对烧焦罐温度有一定影响。调取近期外取热返回管催化剂密度发现其变化区间为 $0\text{--}680\text{kg}/\text{m}^3$ ，波动幅度较大，其与烧焦罐藏量及对应位置温度影响关系如图 1 所示。

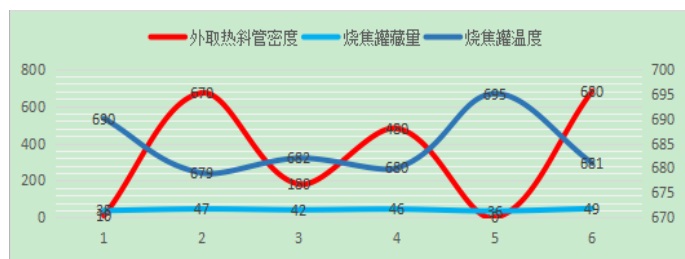


图 1 外取热返回管密度对烧焦罐藏量、温度影响折线图

从图 1 中可以看出外取热返回管密度波动大引起的烧焦罐相关参数变化较为明显，进一步分析发现，当外取热返回管密度波动幅度超过 $400\text{kg}/\text{m}^3$ 且连续波动时间超过 10min 时，将会使烧焦罐径向温差逐渐变大，当温差大于 20° 时，会出现稀相尾燃现象。

引起返回管密度波动大的可能因素有如下几点：①返回管松动点；②返回口处主风偏流；③外取热大、小环流化风；④下料斜管松动点；⑤管束泄露；⑥斜管静压。查看 DCS 数据发现：近期出现大、小环流化风调节滞后，并且风量波动较大的现象，在排除调节阀问题后，分析可能为压力 0.2MPa 的主风在进入再生器后因为分布管损坏导致管路压降下降，进入外取热时因为环管堵塞导致管路压降上升，而引起风量可调性下降。

3.5 外循环管密度

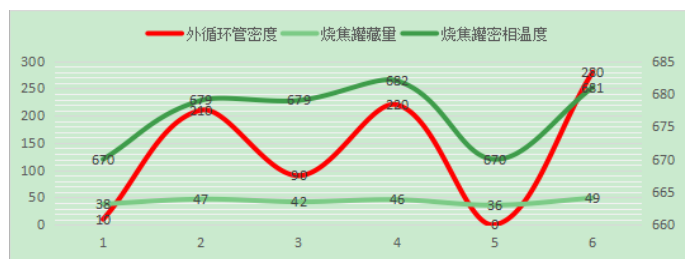


图 2 外循环管密度对烧焦罐藏量、温度影响折线图

外循环管主要作用是将相对高温的催化剂输送到烧焦罐，以提高烧焦罐温度以及调节烧焦罐藏量，而密度

的高低表征斜管下料量的多少。

从图 2 中可以看出，外循环管密度会出现 $0\text{--}280\text{kg}/\text{m}^3$ 的波动，烧焦罐藏量和温度也同步波动，进一步分析发现，当密度低于 $80\text{kg}/\text{m}^3$ 且持续时间超过 5min 以上时，烧焦罐径向温差会逐渐变大。

引起外循环管密度波动大的可能因素有如下几点：

①外循环管静压；②溢流斗；③松动点；④返回口处主风偏流。近期外操反映，外循环管处有时会出现短暂振动现象，在松动点未改变的情况下出现此问题，最大的可能是溢流斗内催化剂脱气不好，使进入外循环管的催化剂因气体量增大而出现非周期性“脱空”现象。

3.6 测量仪表

对再生器内主要测量仪表参照仪表使用规格说明书进行逐一检查，结果均满足设计要求。

3.7 原料性质

为排除因为原料性质变化引起再生器内烧焦量波动的因素，采取了固定单一品质油品进料的方式进行标定，通过 10 天的观察分析，烧焦罐径向温差大的状况未得到明显改善。

4 解决问题思路

催化裂化本身属于动态流态化过程，催化剂在输送线路内的流化状态对操作的影响很大。我国目前主要以重油催化裂化为主，其裂化催化剂与以往的低密度催化剂不同，一般为大密度催化剂，该类颗粒的性质介于 A 类和 B 类之间，有人称之为 AB 类颗粒。因此，要实现平稳操作，在操作中应掌握大密度催化剂的流化特性。

当催化剂在斜管部分流动时，下料斜管下部催化剂呈密相流动状态，上部的催化剂呈现出齿状分布，气体向上运动，气泡自下而上逐渐增大，过大的气泡在输送管内产生“气节”影响催化剂输送，当“气节”不断当催化剂循环量不断的增加时，气泡与催化剂接触会不断破裂，气泡个数会越来越来。总体来说，斜管部分小直径气泡多对催化剂的流动是有利的。当催化剂循环强度较大，气泡数量减少到一定程度，流化状态变为粘滞流，这将影响催化剂的循环。

一般情况下，立管中通入松动气或风后，应保持立管内催化剂的密度控制在 $500\text{--}720\text{kg}/\text{m}^3$ 范围内。在这个范围内，立管内稀密相分界高度适宜，催化剂流动平稳正常。否则，分界面会出现波动，保持不了压力平衡，催化剂的流动就会失控。特别是当料面波动到变径段以上或管线拐弯处以上时，最容易引起“架桥”。当立管上设置的松动点入的松动气以气泡状态进入立管，通入的气体越多，形成的气泡直径越大，催化剂通过量相应会逐渐减少。对催化剂的流动而言，松动点处好像一个喉管，会导致气泡上方的催化剂密度增加，但密度增加段仅限于松动点上很窄的范围，而大部分则是稀相重力流动。

当催化剂的循环系统出现异常时，最常用通过松动点的调节、管内催化剂密度的调节等手段来改善流化。

5 措施实施

5.1 解决外取热斜管密度波动大问题

5.1.1 改变外取热大、小环流化介质

针对主风分支压降变化这一可能性，将主风至外取热器流程停用，利用现有流程将压力为 0.55MPa 的非净化风并入外取热器作为流化介质，改造后进入外取热器的非净化风量可以灵敏调节。

5.1.2 调整外取热大小环非净化风量

在确定非净化风作为流化介质调节有效后，随后到现场调节外取热器大、小环非净化风量。内操通过 DCS 系统监测外取热器下料管密度及烧焦罐藏量、温度的变化情况。出现流化情况变好趋势，停止调节松动点，记录调节组合方式及再生器温度变化参数。经过多次调节，最后根据数据比对，确定小环流化风流量调节区间为 50-150Nm³/m，大环流化风流量调节区间为 100-300Nm³/m。

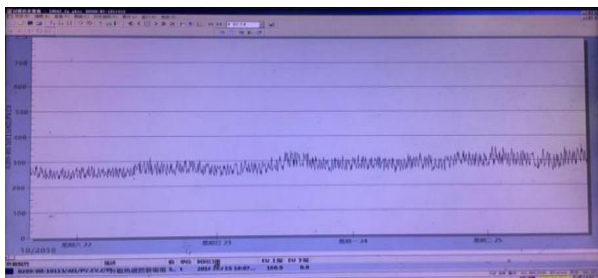


图 3 外取热斜管密度趋势图

由图 3 可以看出，外取热流化介质改变以及非净化风流量调整后，返回管密度在 350-450kg/m³ 之间波动，返回管下料平稳，减小了对烧焦罐径向温度的扰动。

5.2 解决外循环管密度波动大问题

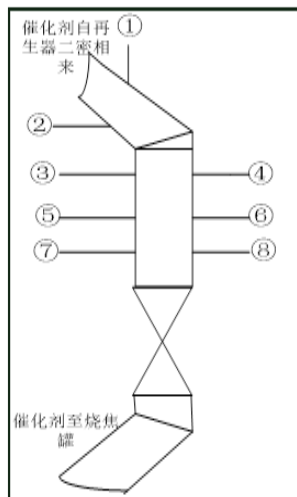


图 4 外循环管松动点分布图

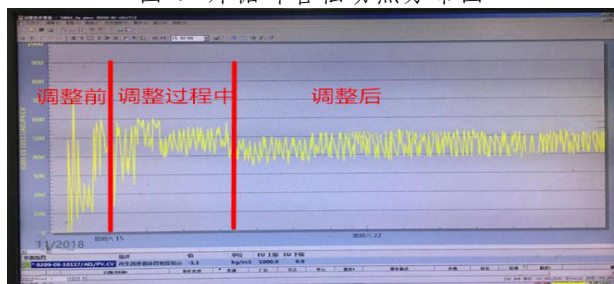


图 5 外循环密度变化趋势图

外循环管出现非周期性振动现象，存在管内催化剂“脱空”的可能，通过减少进入管内的松动风，有可能解决此问题，在调整过程中，根据外循环管压降和密度变化情况，首先将气固反向流动的 2 号松动点停用，减小催化剂从二密相下来的阻力。观察 2 天后，相继停用 3、5、6 号松动点，在不影响流化的情况下使进入外循环管的气体量减少，现场观测外循环管振动现象基本消失。

通过图 5 可以看出，调整外循环管松动点后，其密度控制在 400-500kg/m³ 之间，波动幅度有较大改善，随着外循环管催化剂下料变好，靠近其下料附近的温度呈现上升趋势，烧焦效果明显变好。

外取热斜管密度及外循环管密度相对稳定后，再生器烧焦罐温度和藏量趋于平稳，烧焦罐径向温差基本上控制在 10℃ 以内，再生器烧焦效果好，助燃剂加注量及加注间隔时间延长。12 月 31 日，我们收集调整操作后 CO 助燃剂使用量数据：

表 3 CO 碳助燃剂使用量数据

| 时间(月) | 11 | 12 |
|---------------|------|------|
| 使用量 (kg) / 月 | 648 | 657 |
| 使用量 (kg)/ 天 | 21.6 | 21.2 |
| 平均使用量 (kg)/ 天 | 21.4 | |

由表 3 可知，CO 助燃剂使用量由调整前的 25.1kg/天降至 21.4kg/天，虽有下降但仍未达到设计指标，通过烧焦罐径向温度点推理分析，靠近外循环下料管侧主风分布管或边部挡板存在损坏的可能，当前只能维持现有操作参数，减少参数波动，待装置检修时进一步排查、确认及修复。

6 结论

烧焦罐径向温度影响因素较多，在分析过程中应将各操作参数进行综合考虑，设备影响因素尽量通过工艺优化来弥补，在操作中需考虑，反-再系统操作参数及催化剂颗粒状态有较大变化时，也可能出现斜管下料量变化引起烧焦罐径向温度变化的情况，此时应及时调整松动点投用状态，并经过一定时间观察其是否有效，以保证操作在动态可调范围内。

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.
- [2] 马伯文. 催化裂化装置技术问答 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2003.
- [3] 张杨. 催化裂化装置应急知识问答 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2012.
- [4] 张韩, 刘英聚. 催化裂化装置操作指南 [M]. 北京: 中国石化出版社, 2017.