

# DMTO 装置再生器旋风分离系统故障剖析 及对企业经济的影响

李春旗（中煤陕西能源化工集团有限公司，陕西 榆林 719000）

**摘要：**DMTO 装置再生器内部的旋风分离系统是该装置的核心部分，主要作用是将气固两相中的催化剂进行回收利用，一旦出现故障或者异常情况，大量催化剂跑损，将会影响催化剂的单耗，严重者导致装置被迫停工，给企业带来巨大的经济损失。该系统的完好性也对装置的顺利开车起决定性因素，易发生因催化剂跑损导致开车失败的情况，是决定DMTO 装置长周期稳定运行的核心要素。某DMTO 装置自2014 年开车以来，再生器旋风分离系统相继出现料腿焊口断裂、旋风分离器入口磨损等现象，引起催化剂的单耗增加，催化剂补充量增涨，后续系统固含量增长，热工系统取热量下降，产汽量减少，对装置的平稳运行产生了较大影响，在能耗、物耗方面影响装置的总体经济效益。

**关键词：**DMTO；再生器；旋风分离器；经济效益；企业经济

## 0 引言

DMTO（甲醇制烯烃）装置是煤制烯烃项目的重要装置，也是甲醇制烯烃工艺流程的核心。再生器作为DMTO 装置的核心设备，主要作用是将反应后的待生催化剂进行烧焦，恢复催化剂活性。再生器内气固两相中的催化剂依靠旋风分离系统进行回收，旋风分离系统在高温和高浓度催化剂的环境下长时间运行有可能发生冲蚀、磨损、断裂、堵塞等现象，其故障将会导致催化剂回收效率下降，催化剂跑损，单耗增加，同时因后路系统连接余热锅炉，大量催化剂附着在取热管上降低其取热效率，甚至导致排放至大气中的烟气固含量超标，引起环保不达标的问题。

## 1 旋风分离系统结构

再生器的旋风分离系统由旋风分离器、旋风分离器吊挂组件、料腿、拉杆、拉板、防倒锥、翼阀组成，该系统的核心部件为四组二级串联逆流式筒锥型旋风分离器。二级串联旋风分离器的第一级和第二级入口均为180° 圆筒环绕式蜗壳，入口截面呈矩形。第一级旋风分离器（简称一旋）通过吊杆悬挂在再生器封头内置的吊座上，灰斗直接连接在排料口上，灰斗下部安装料腿，料腿下部插入床层内，其底部安装防倒锥作为“防溅板”。一旋的升气管顶部安装蜗壳式排气口，该排气口与第二级旋风分离器（简称二旋）入口采用焊接形式连接。二旋同样设置灰斗、料腿，料腿的底流密封则使用翼阀。四组二旋的升气管与烟气集合室采用焊接形式连接，该连接形式同时起到二旋

的吊挂作用。料腿之间使用拉杆系统进行连接固定，用来增加整个旋风分离系统的水平稳定性。

## 2 旋风分离器基本工作原理

旋风分离器作为旋风分离系统的核心设备，是一种利用离心力把固体颗粒从含尘气体中分离出来的静止机械设备，其内部无运动部件。对于标准的逆流旋风分离器，通过入口结构的设计迫使气流切向进入旋风分离器内产生旋转运动，气流在作旋转运动的同时沿分离器的外侧空间向下运动。通常讲分离器的流型划分为“双旋涡”，即轴向向下运动的外旋涡和向上运动的内旋涡（见下图1）。在分离器锥体段，迫使气流缓慢进入分离器内部区域，然后气体沿轴向向上运动，由分离器顶部的升气管排出。气体中的含尘颗粒在分离器内离心力场作用下向边壁运动，同时由边壁附近向下运动的气体将其带到旋风分离器下部的排料管排出。

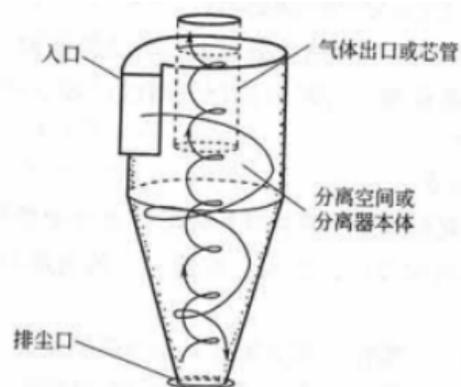


图1 “双旋涡”示意图

### 3 旋风分离系统故障现象

#### 3.1 旋风分离器内的壁面磨损

旋风分离器壁面磨损并不均匀。有几个部位特别容易磨损,这些部位包括入口“目标区域”、锥体下部、灰斗以及料腿上部。通过近年来多套DMTO再生器检修情况来看,上述易磨损位置均出现过较严重磨损现象,甚至有穿孔情况,导致不同程度的跑剂,个别装置因此被动停车检修。旋风分离器内部采用龟甲网固定高耐磨衬里,蜗壳底板与筒体连接使用连续焊形式,其内部对应位置设置一圈不锈钢材质的衬里挡圈。衬里挡圈表面无衬里材料的覆盖保护,又因其直接暴露在入口“目标区域”,再生气中的高浓度催化剂不间断冲刷,将会导致衬里挡圈的冲蚀磨损,出现一条或数条沟壑状磨损槽,其磨损程度沿曲率半径的减小而加深(见下图2)。



图2 衬里挡圈的冲蚀磨损图

衬里挡圈的磨穿,进而导致筒体与蜗壳的焊缝磨损,穿孔后,再生气在入口区域“回流”,使得旋风分离器压降增大,分离效率下降。生产中部分装置旋风分离器的锥体下部出现磨损及穿孔情况,主要原因在于再生气进入旋风分离器后,其对旋风分离器的磨损量沿轴向迅速变缓,并且一直降低到旋风分离器筒锥结合处达到最小值,在锥体上的磨损率却又沿轴向明显增加,且在锥体下部或最低端达到最大值,形成磨损峰值。也就是说在旋风分离器锥体部分某一给定位置的磨损量与该位置的锥体直径成明显的反比关系。

另外旋风分离器内部的漩涡因摆动而导致涡核端部附着在锥体上,两者接触面也将会产生磨损峰值。灰斗的磨损有两个原因,一方面是涡核端部可能附着在灰斗锥体上;另一方面是灰斗连接在旋风分离器排料口下部,主要作用是收集旋风分离器收集下来的催化剂,而催化剂沉积较多的部位也是磨损较严重的地方,催化剂颗粒间的频繁碰撞,增加了其与壁面的碰撞,加剧了壁面的磨损。料腿上部的磨损也是因为其过流催化剂而引起的。

#### 3.2 料腿及拉紧系统应力

旋风分离器回收的催化剂通过料腿返回至流化床层内,其与灰斗的连接、拉紧系统的连接均采用焊接形式。目前在部分DMTO装置中,已发现料腿与灰斗连接的焊缝沿料腿径向截面整体断开现象(见下图3),通过断面的分析,发现焊缝局部存在由内向外的磨损掏空区域,使得该处的强度下降。料腿在运行中存在摆动的趋势,连接处的强度下降将会导致该处在应力影响下出现断面现象。

另外,开车过程中温升过快、温差过大、操作中负荷大幅度调整,都将在部件连接处以应力的方式释放。某装置所出现的料腿位于其与拉紧系统连接板焊接处呈现揭盖式破口,也是因为温升过快导致的应力释放现象。



图3 料腿与灰斗连接焊缝径向截面断面图

#### 3.3 料腿与底流密封件的冲蚀磨损

旋风分离器回收的催化剂通过料腿返回至再生器

密相段,料腿下部插入流化床层内。一旋、二旋料腿的底流密封件分别为防倒锥和全覆盖式翼阀,所安装位置处于料腿最下侧。再生器采用湍动流化床,催化剂颗粒密度为 $1500\sim 1800\text{kg/m}^3$ ,堆积密度约为 $650\sim 900\text{kg/m}^3$ ,其在运行中存在颗粒间作用力,固体的返混较为严重,催化剂在再生器中的停留时间应不低于30min。

目前我们可以从多套DMTO装置再生器的检修情况来看,运行1个周期后,密相床层内的料腿、防倒锥、翼阀、拉紧系统都存在严重的冲蚀磨损情况,料腿表面、翼阀护罩、翼阀入口直管、料腿防倒锥下锥面、丁字形拉杆表面均存在鱼鳞状大面积磨损,甚至有磨穿现象;翼阀护罩的焊缝、翼阀与料腿的连接焊缝严重者脱开断裂,导致护罩或者翼阀脱落。通过多次检修情况的对比,我们发现上述冲蚀磨损情况与运行周期以及生产负荷成正比关系。

#### 4 相关措施

旋风分离器的壁面磨损问题主要依靠内部高耐磨衬里的完好性进行保证,所以对于龟甲网的焊接质量、衬里的施工质量应按照施工要求进行。入口衬里挡圈的设计建议通过其他技术或设计替代,避免此处磨损而引发旋风分离器效率下降问题。

在设计阶段也可通过衬里材质的升级、旋风分离器排料口与灰斗连接形式的改进、升气管调整插入深度等措施提升分离效率的同时降低磨损率,这些需要研发设计人员予以确认。对于旋风分离器已出现的磨损甚至穿孔处,根据检修周期和检修力量等综合条件,可采用外部贴板、局部离线内部修复、整体更换的方式处理。

特别注意的是,局部部件离线处理后,其回装组对时必须严格按照旋风分离器的安装要求进行,涉及衬里修复的情况时,开工阶段必须根据衬里烘炉曲线的要求进行升温。料腿与拉紧系统的连接不得强力组装,另外温差应严格控制,尤其开工阶段的温升过快,不仅对拉紧系统热应力产生严重影响,也会对衬里造成不可逆损伤。

翼阀内排出饼干状衬里碎片便是温差原因导致衬里损伤的现象之一。密相床的冲蚀磨损属于不可避免现象,部分装置通过在其表面加装衬里料来进行延缓,但因磨损部件半径较小导致衬里料无法牢固抓紧至其表面,其延缓磨损的效率不佳。目前普遍的处理方法是在每个检修周期或者临时检修窗口期对磨损件进行

更换。

### 5 对企业经济的影响

#### 5.1 旋风分离器系统的市场应用

旋风分离器系统市场应用场景非常广泛,与其他气固分离技术相比,其具有结构简单、无运动部件、分离效率高和压降适中等特点。合适于高温、高压和含尘浓度高的工况下使用,尤其在石油裂解行业中的催化裂化装置、煤化工行业的甲醇制烯烃装置得到大量使用,属于该行业的核心设备。

#### 5.2 故障后对企业经济的影响

再生器旋风分离系统故障后首先导致催化剂的回收率受到影响,严重的跑剂会引起新鲜催化剂的大量补充,造成催化剂使用费用增长;当催化剂补充率小于跑损率时,系统无法维持平衡,将引起整个生产装置的停车检修,因该系统故障而导致的经济损失至少在百万元,给企业带来严重经济损失。同时,跑损的催化剂进入后路取热系统,附着在取热管表面影响蒸汽产量,造成产汽不足,额外增加蒸汽系统的消耗费用。

#### 5.3 修复后的经济效益

修复后再生器旋风分离器系统,其完好性对甲醇制烯烃装置的稳定、高效运行具有重要意义,对于单耗、双烯收率等生产控制参数的调整起决定性作用。企业将会因该系统的完好性减少生产成本的大量投入,产生较高的经济价值。同时在能耗、物耗、废固处理方面进一步降低企业的资本支出。

### 6 结束语

再生器旋风分离器系统的完好性是决定DMTO装置长周期稳定运行的核心要素,关系到整个DMTO装置乃至下游所有装置的平稳运行,对其故障的分析不应单方面单专业考虑,应该结合其结构原理、运行状况、操作条件等全面分析,要知其然,更要知其所以然。

#### 参考文献:

- [1]A.C. 霍夫曼, L.E. 斯坦因. 旋风分离器 - 原理、设计和工程应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [2]Storch O and Pojar K(1970) On the problem of wear in centrifugal separators. Staub-Reinhalt. Luft 30 No 12: 5-12.
- [3] 赵新学, 金有海, 孟玉青, 孙治倩. 旋风分离器壁面磨损的数值分析 [J]. 流体机械, 2010, 38(4): 21-22.
- [4] 吴秀章. 煤制低碳烯烃工艺与工程 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014.