

高效叶片式分离器与传统的丝网分离器的效能分析

吕娅洁（中国石油化工股份有限公司天津分公司，天津 300271）

摘要：通过比较高效叶片式分离器与传统的丝网分离器的特点，可以明确利用高效叶片式分离器代替丝网分离器的优势。高效叶片式分离器大幅提高了气液分离效率，由丝网分离器分离 $15\mu\text{m}$ 及以上尺寸的液滴到高效叶片式分离器 100% 分离 $8\mu\text{m}$ 及以上尺寸的液滴，气体的带液明显降低，延长了压缩机等设备正常使用、操作和维护周期，消除了设备经常损换的安全隐患。

关键词：压缩机；叶片式分离器；分离效率；节能

1 前言

芳烃联合装置氢气增压机（两开一备）是装置的关键设备。由于装置扩能增产前端空冷器冷却能力明显不足，导致冷却过程温度高带液，致使机组积液积碳振动一直偏高，形成管理和维护的难点。目前国内大部分化工装置，包括芳烃联合装置仍采用丝网分离器或重力式分离器作为压缩机级间分离器。而国外已经逐步淘汰了丝网分离器，采用分离效率和机械强度更高、操作更稳定、抗堵能力更强、体积更小的第二代高效叶片式气液分离器。

2 存在的问题及原因分析

2.1 压缩机存在的积液问题

2.1.1 压缩机结构

芳烃重整装置 K-202A/B/C 氢气增压往复压缩机，为沈阳气体压缩机厂制造，4M40 系列往复式压缩机，是四列二级对称平衡型压缩机，此系列产品为引进德国博尔齐格公司的专有技术，电机驱动，压缩介质分二级进行压缩，I 级为低压段，II 级为高压段。该往复式压缩机的型式为二级双作用、无油润滑；轴功率 2465kW；转速为 300r/min；输送介质为 H_2 （87%）；传动方式采用刚性联轴节直接驱动（结构形式见图 1）。

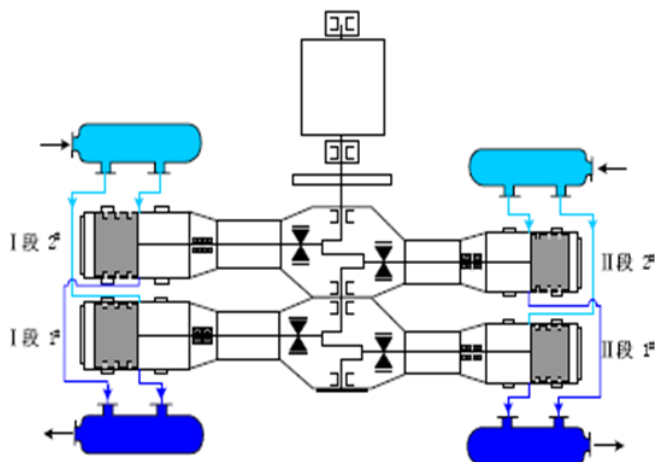


图 1 氢气增压往复压缩机结构图

2.1.2 压缩机带液活塞杆断裂情况

压缩机长期存在带液运转（见图 2-图 3），这种特殊的工况明显加大了对压缩机各个连接部件的损伤。往复压缩机进气分液罐 D-217 在重整装置由 60 万 t 扩大

到 80 万 t 后，停留时间由原设计 11.87s 减低到 4.5s，不能达到压缩机入口氢气分液的要求。现在采取措施为将压缩机入口过滤器排放倒淋全开，入口缓冲罐每小时排液一次。这种措施不能从根本上防止机组带液，还会有部分液体进入气缸中，使得压缩机带液运转。排液带出大量的氢气去火炬烧掉，造成浪费。在气缸内经过压缩气体中的液体随着压缩升温碳化，聚集黏连在气缸内比表面增加了活塞的推力，同时传导到活塞杆、十字头销、连杆（包括连杆螺栓）及曲轴导致应力增大，也是引起箱体、连杆、活塞杆等断裂的原因之一。

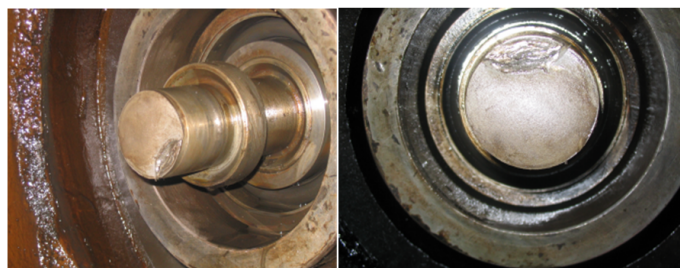


图 2 液体高温碳化活塞杆断裂



图 3 缸体内积液严重

2.1.3 活塞环磨损、托瓦磨损导致活塞杆下沉

通过截取状态监测和故障诊断系统对活塞杆沉降的监测曲线图（见图 4），曲线图中可以看出，2 号缸存在缸体对中不良情况，活塞紧贴气缸下壁运行，程度 $684-544=140\mu\text{m}$ ，3、4 号缸存在活塞杆弯曲现象。3 号缸程度 $900-683=217\mu\text{m}$ ，4 号缸程度 $633-541=92\mu\text{m}$ 。从活塞杆监测沉降特征上反映活塞环磨损、缸体对中不良、活塞杆弯曲等综合故障现象，可判断机组活塞杆载荷较大，与机组带液积碳过早因果关系，偏磨与带液有关，增加运动摩擦力，因此造成载荷过大，频繁检修无

法被用。

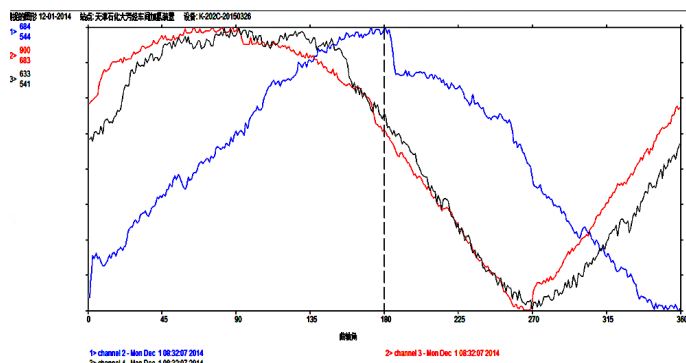


图4 活塞杆沉降监测曲线

2.2 丝网与高效叶片式分离器的特点比较

2.2.1 丝网分离器存在的优势与不足

2.2.1.1 丝网分离器的分离原理

该压缩机近进气原始设计为丝网分液器，当气液两相混合流通过丝网滤层时，滤层丝网网格阻碍气流前进，使气流无限次的改变运动速度和运动方向而绕过丝网前进，这些改变引起液滴对滤层网丝产生惯性冲击、重力沉降、拦截、布朗扩散等作用，从而使液滴微粒聚集分离^[1]。

参考下图5所示。

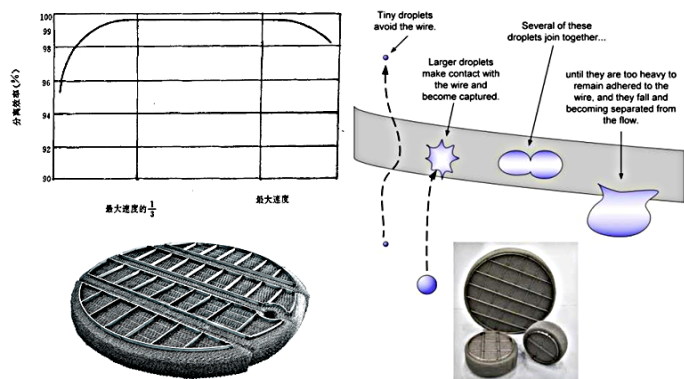


图5 丝网分离器分离原理

2.2.1.2 丝网分离器的分离优势与不足

丝网分离器是第一代用于气液分离的内件，目前技术成熟，成本较为低廉，应用也比较广泛。

但从上述丝网分离器的分离原理可以看出，丝网分离器的正常运行受到诸多因素的限制，常常影响机组的正常运行。

①气体流速不能太快，否则会造成出口气体夹带液量升高；

②气体中的液相含量不能太高，否则容易造成丝网的液泛，从而造成出口气体夹带液量升高；

③分离效率受到操作条件变化的影响较大；

④因丝网中间的空隙很小，故抗堵能力较差；

⑤因丝网分离器一般用0.28mm左右的金属丝编织而成，机械强度不高，使用寿命短，容易损坏；

⑥检修维护频繁，因丝网容易损坏，需要定期维修、

检查及更换；

对于下游设备（尤其是压缩机等动设备）的保护不够可靠，因丝网一旦破损，不但会造成分离效率下降，而且金属丝可能会被气体带入下游设备，造成下游设备的损坏。丝网本身损坏见图6。



图6 丝网破损照片

2.2.2 丝网分离器的分离性能

①丝网分离器的分离效率——丝网编织密度不同，分离效率也不同，常规丝网分离器的分离效率一般为：99%分离15μm及以上尺寸的液滴；

②丝网分离器的压降——丝网编织密度不同，压降也不同，常规丝网分离器的压降一般为0.3~0.4kPa；

③丝网分离器操作弹性：约为3:1。

2.3 高效叶片式分离器的分离原理及特点

2.3.1 高效叶片式分离器的分离原理

高效叶片式分离器同时采用动能碰撞，液滴吸附聚结和重力沉降的原理，从而得以实现更高的气液分离效率，更低的操作压降以及更宽的操作弹性范围。

夹带液滴的气体一旦进入高效分离叶片的通道，将被叶片立即分隔成多个区域。气体在通过各个区域的过程中将被叶片强制进行多次快速的流向转变。气体在进行多次快速的流向转变过程中，在惯性力和离心力的作用下，液滴将与叶片发生动能碰撞，液滴之间通过吸附聚结效应附着在叶片表面。

附着在叶片表面聚结成膜的液体在自身重力，液体表面张力和气体动能的联合作用下进入叶片的夹层，并在夹层中汇流成股，流入到叶片下方的积液槽中进行收集。最终得到经过完全净化处理的，不再含有夹带液滴的干净气体。参考下图。

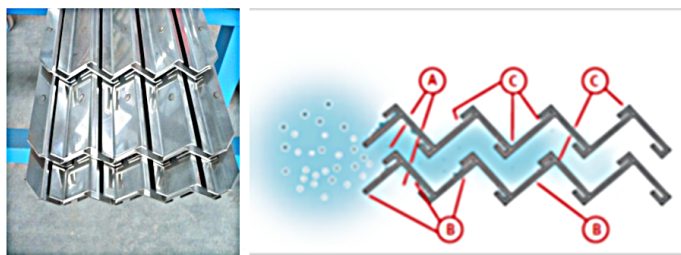


图7 叶片分离器分离原理

2.3.2 高效叶片式分离器的优势与不足

从上述高效叶片式分离器的分离原理可以看出，高效叶片式分离器有如下特点：

①高效叶片式具有多道折弯，并且具有可以收集液

体的夹层,在更高的风速条件下,也可以保持非常高的分离效率,即在同样的气量下,高效叶片式分离器的尺寸可以做的更小;

②因高效叶片折弯处有夹层式设计,具有更高的液相处理能力,允许气体中含有更多的液相;

③高效叶片式分离器分离效率受到操作条件变化的影响不大;

④高效叶片之间的间距较大,故抗堵能力强;

⑤高效叶片一般用 1mm 左右厚度的不锈钢金属板进行折弯、焊接制造,故其机械强度非常高,不容易损坏,设计寿命一般与容器相同;

⑥高效叶片式分离器的机械性能好,一般无需检修维护,也无需更换,只需要在装置大修时进行常规检查即可;

⑦高效叶片式分离器的机械性能好,一般不会损坏,对于下游设备(尤其是压缩机等动设备)的保护性更加可靠;

⑧高效叶片式分离器的成本比丝网式要高 25% 左右。

2.3.3 高效叶片式分离器的分离性能

①高效叶片分离器的分离效率:100% 分离 $8\mu\text{m}$ 及以上尺寸的液滴;

②高效叶片分离器气体出口中液体夹带量(采用普尔利斯高效叶片式分离器):小于 $0.1\text{gal}(\mu\text{m})/\text{MMSCF}$ (约合 $13.4\text{L}/106\text{NCM}$);

③高效叶片分离器的压降:一般为不超过 0.5kPa ;

④高效叶片分离器操作弹性:一般无严格限制,可以达到 10:1 以上。

3 芳烃联合装置中丝网分离器更换高效叶片式分离器的效果对比

3.1 高效叶片式分离器和丝网分离器效果对比

在联合芳烃装置扩能改造(从 20 万 t/a 扩能为 30 万 t/a 扩)中,空冷器没有增加,在采用了传统丝网分离器的设计方案,导致机组缸体带液内积碳严重,三个月就要大修一次,给装置造成了严重的安全隐患。丝网与叶片分离器的分离罐尺寸没变,分离的接触面积增加了 60%,分离效率显著提高,带液现象冥想减少。

高效叶片式分离器和丝网分离器分别投用后对整体效果进行了比较,设备本身的体积缩同样尺寸,分离接触面积提高了;通过取样分析,高效叶片式分离器丝比丝网分离器分离效果可提高 25% 以上,从进气源头进行改善降低了气体带液对气体压缩机的损坏影响程度。

3.2 增加高效叶片式气液分离器,提高了气液分离效率

夹带液滴的气体一旦进入高效分离叶片的通道,将被叶片立即分隔成多个区域。气体在通过各个区域的过程中将被叶片强制进行多次快速的流向转变。气体在进行多次快速的流向转变过程中,在惯性力和离心力的作用下,液滴将与叶片发生动能碰撞,液滴之间通过吸附聚结效应附着在叶片表面。

附着在叶片表面聚结成膜的液体在自身重力,液体表面张力和气体动能的联合作用下进入叶片的夹层,并在夹层中汇流成股,流入到叶片下方的积液槽中进行收集。最终得到经过完全净化处理的,不再含有夹带液滴的干净气体,在原基础上减少了 90% 以上(检修拆卸验证瓦窝基本没有液体)。增加高效叶片式气液分离器后,较好地解决进气带液问题,避免由于气缸内高温碳化结焦以及导向环、活塞环磨损严重而导致活塞杆下沉造成的受力不均现象发生,使机组的维修周期从三个月一次大修延长到了 8 个月,维修费用从 60 万元降到了 20 万元,创造了更高的经济效益,同时更好的消除了设备经常损坏的安全隐患。

4 结论

从上述丝网分离器与高效叶片式分离器的分离原理、分离性能及实际应用案例的对比来看,高效叶片式分离器作为第二代高效气液分离产品不仅具有更高的分离效率、更大的操作弹性、更长的使用周期,并且具有更小的容器体积、更小的占地面积、更低的一次性投资。通过增加高效叶片式分离器,较好的解决了机组进气带液问题,机组的运行周期 3 个月提高到了 8 个月,一年可节省维修费用 40 万元。

目前高效叶片分离器已经广泛适用于需要各种气液分离的工艺过程,如石化、化工及煤化工的生产装置,压缩机组间分液罐,锅炉蒸汽汽包和核电站的二级蒸汽脱水等。

高效叶片式分离器作为第二代高效气液分离产品,已经逐步替代现有的传统丝网分离器,尤其是在石油化工、煤化工及天然气等新能源领域,已经得到广泛及成功的应用,具有推广的价值。

参考文献:

- [1] 乐敏.旋风分离器进气管结构改进的数值模拟研究[J]. 流体机械,2019(10).
- [2] 张勇,周忠贺,蒋明虎,邢雷.基于响应面法的旋风分离器结构参数的优化[J]. 流体机械,2018(12).
- [3] 李琴,邹康,刘海东,李泽蓉.入口高宽比对旋风分离器壁面冲蚀的影响[J]. 流体机械,2017(07).
- [4] 赵艳,许伟伟,王建军,王锐,高光才,金有海.多喷嘴射流式分离器内气固流动特性的数值模拟[J]. 化工学报,2014(12).
- [5] 金向红,金有海,王建军,王振波.轴流式气液旋流分离器内气相流场的数值研究[J]. 高校化学工程学报,2009(05).
- [6] 金向红,金有海,王振波,王建军.筒体结构对轴流式气液旋流分离器分离性能的影响[J]. 流体机械,2008(01).
- [7] 魏伟胜,杨彦文,鲍晓军,石冈.气液分离器的模拟实验[J]. 石油化工,2003(09).

作者简介:

吕娅洁(1975-),山东临朐人,天津职业大学,涉外营销专业,工程师,现从事仪表专业。