

# 制氢装置变压吸附(PSA)的技术改造

张炳华

(总厂芳烃厂)

本文介绍了变压吸附在制氢工艺中的应用和技术改造的原因及技改后的作用。

## 1 变压吸附在制氢工艺中的应用

变压吸附(PRESSURE SWING ADSORPTING 简称 PSA)工艺是以多孔固体物质(吸附剂)内部表面对气体分子的物理吸附(范德华力)为基础的一种化工单元操作。

PSA 工艺是在两种压力状态之间工作的循环过程。杂质的吸附是在较高压力下进行的,增加压力能使杂质被吸附剂所吸附,使所需的产品得到提纯;降低压力可使杂质从吸附剂上解吸出来,并在低压下用产品进行吹扫和排放,完成吸附剂的再生过程,以便在下个循环中再次吸附杂质。

用变压吸附操作来代替常规制氢流程中的低温变换、脱二氧化碳和甲烷化系统用于粗氢气的提纯,是制氢技术上的一大进步。它使制氢流程缩短和操作简化。芳烃厂制氢装置变压吸附部分原设计为 10 床、5 床二种自动运行方式,为了满足生产的需要,1992 年大修改造成 10 床、8 床、5 床三种自动运行的方式。

### 1.1 工艺流程

芳烃厂制氢装置采用了 PSA 方法来提纯造气系统所产的含氢量为 70V% 左右的富氢气体,产品氢的纯度可达 99.99% 以上。

采用 PSA 提纯氢气可代替常规制氢工艺流程中的一氧化碳低温变换、二氧化碳洗涤、一氧化碳甲烷化等工序。二种不同提纯方法的工艺流程示意图见图 1、图 2。

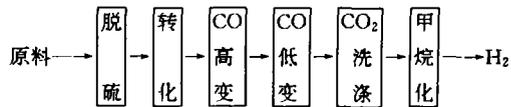


图 1 常规制氢流程

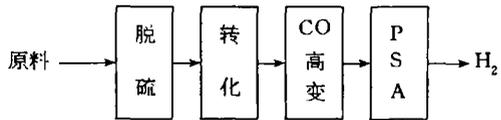


图 2 PSA 制氢流程

采用 PSA 净化技术,由于 PSA 能对烃类转化气经高变后的杂质组分 CO、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub> 和 H<sub>2</sub>O 等一次清除。鉴于这一个特点,采用 PSA 技术的制氢装置的蒸汽转化炉可以选择较低的转化温度,适当降低水烃比。这

样可以延长炉管的使用寿命和增加蒸汽的输出。如果转化气中的甲烷含量较高,这些残余甲烷能随同其他杂质一起被 PSA 所脱除送往转化炉作燃料使用,仍能保证氢气的纯度不变。

### 1.2 工艺过程

进入 PSA 的原料是经过高温变换反应后的变换气,其组成为  $H_2$ : 69.22%,  $CH_4$ : 6.29%,  $CO$ : 3.57%,  $CO_2$ : 20.92%。在吸附压力(2.5MPa)条件下,变换气自下而上通过吸附剂床层时,其中  $CH_4$ 、 $CO$ 、 $CO_2$  被复合吸附剂活性碳和 5A 分子筛所吸附;而低极性,高挥发性的氢气是非吸附性组分,因此,当变换气通过吸附剂床层后就能得到高纯度的  $H_2$ 。当吸附剂吸附的杂质达到设计的规定值后,此吸附床就停止进料而逐步降压进入再生阶段。

再生阶段包括三次均压、供吹扫、排放、被吹扫等步骤,最终压力降至 0.05MPa。在

低压状态(0.05MPa)的排放和被吹扫步骤中,被吸附的杂质绝大部分被脱附排入燃料系统。然后吸附床再逐步升压至吸附压力再进料完成一个循环过程。

### 1.3 运行方式

PSA 系统一般有 4 床、6 床、8 床、10 床组成。芳烃厂制氢装置为 10 床 PSA 装置。多床的 PSA 装置按程序运行可使各吸附床有规律的处于吸附、再生等各个步骤中,保持有稳定流量的产品氢供出。

在正常运行时为 10 台吸附床全部投入的 10 床自动操作,操作的全过程由计算机 FOX-3 进行控制。

当某一床的阀门或仪表配件发生故障时,可切换成有 5 台吸附床投入使用的 5 床自动操作。待故障排除后,再切换回 10 床自动操作。

10 床自动操作与 5 床自动操作的主要不同点见表 1。

表 1 10 床与 5 床主要不同点

运行方式	同时吸附床数	进料量(Nm <sup>3</sup> ·h)	产品 H <sub>2</sub> 量(Nm <sup>3</sup> /h)	均压次数	H <sub>2</sub> 回收率(%)
10 床	3 台	74530	43850	3	84.91
5 床	1 台	40668	22740	2	80.73

从上表中可以看出,当 PSA 5 床运行时,产品氢的量为 22740Nm<sup>3</sup>/h,是 10 床运行时产品氢气量的 51.9%,不能满足用氢装置加氢裂解的需要。所以在以往生产中,一旦制氢装置的 PSA 某台吸附床的阀门或仪表配件有故障后,就得切换成 5 床运行,同时,加氢裂解装置就要降负荷运转,影响了整个联合装置的正常生产。所以,制氢装置的 PSA 控制系统在 1992 年大修时进行了改造。

## 2 PSA 控制系统的改进

### 2.1 增加 8 床自动控制功能

PSA 控制系统改造后的最主要功能是具有 8 床自动运行的功能。当一台吸附床的阀门或仪表配件发生故障后,PSA 系统的运行可从 10 床自动运行切换成 8 床自动运行,在 8 床运行时输出的氢气量可满足加氢裂解正常生产的需要,待一般性故障排除后可再切换至 10 床自动运行。当发生较大故障需用 N<sub>2</sub> 置换吸附床内可燃气体时,则需把 8 床运行切换成 5 床运行,待故障排除后,再切换成 10 床运行。

10 床、8 床、5 床运行的主要性能比较见表 2。

表 2 10床、8床、5床主要性能

运行方式	同时吸附床数	进料量(Nm <sup>3</sup> /h)	产品 H <sub>2</sub> 量(Nm <sup>3</sup> /h)	均压次数	H <sub>2</sub> 回收率(%)
10床	3	74530	43850	3	85
8床	2	74530	42000	2	81
5床	1	40668	22740	2	81

从上表中可以看出,当10床切换至8床运行时,进料量不变,但由于H<sub>2</sub>的回收率降低,故产品H<sub>2</sub>的流量相应下降4%左右。由于在正常生产时制氢的负荷在75%左右所以当10床切换成8床运行时,为了保证供氢量的不变,只要适当提高造气部分的负荷,相应增加PSA的进料量就能保持加氢裂解装置的正常运行。

### 2.2 用 MODICON 984 二台微机取代 FOX—3 计算机

随着科技的不断发展,FOX—3在国际上已成为过时的老产品,备品备件已难以购买。在使用过程中突发性的故障也时有发生,且容量小,无备机,影响装置的稳定生产。

改造后的PSA采用二台微机来进行自动控制,其中一台运行,另一台在线备用。在PSA装置运转状态下可进行在线的修理或调换故障的信息处理机。

### 2.3 切换阀门增装阀位开关

原判断切换阀门是否有故障是通过床层的压力梯度的变化来实现的。这次改造在切换阀门上增装阀位开关,阀门实际应该所处的位置根据控制程序进行检查,如有偏差则发出报警讯号。用阀位开关代替压力梯度的变化来监视阀门的运行情况其优点是正确、直观、及时。

### 2.4 控制调节回路的改进

#### 2.4.1 升压控制

吸附床再生以后在升压过程中靠其他床均压的氢气可升压至1.86MPa,从1.86MPa升压至吸附压力2.5MPa需要产品氢进行升压。

原设计的升压控制是根据负荷来计算升

压流量,升压流量分别用FV—10310、FV—10311进行控制,为了保持升压流量的稳定,在升压控制过程中,FV—10310或FV—10311的开度根据产品氢和升压床层的压差逐渐减小而增加,当升压阀门开度达到预定的在该负荷下的开度时,就发出可以进料的信号。控制回路见图3。

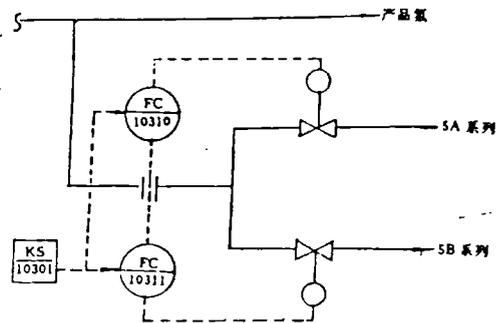


图 3 原设计升压控制示意

改进后升压控制系统按照负荷计算升压时间,然后根据升压床与产品氢的压差计算升压速率进行吸附床的升压。把原来的流量控制改为压力控制,可以准确地控制循环时间。

改进后升压阀门的配管也作了变动,原设计一个阀门固定控制5A或5B的升压。改进后的升压阀门正常运行时功能和原设计相同。但当一个阀门发生故障后,另一个阀门可以担负5A和5B二个系列的升压工作。配管改动及控制回路见图4。

#### 2.4.2 吹扫控制

原设计吹扫控制系统有二只控制器输出信号分别控制5台吸附床的吹扫和E<sub>3</sub>平衡。控制器PC—303控制5A系列的3"阀门;PC—305控制5B系列的3"阀门。每只3"阀

分别配有二只电磁阀组成一个控制系统。

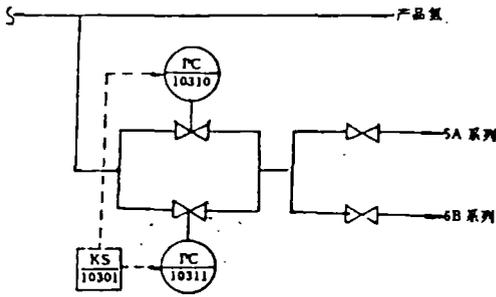


图 4 改进后升压控制示意

改进后的控制系统为 3" 阀直接接受由计算机输出经电气变换器变换后的模拟信号进行动作,目的是使供吹扫的吸附床的压力受控制而使进入混合罐的废气流量稳定。每只 3" 阀的二只电磁阀用一只电气变换器取代,其控制示意图见图 5。

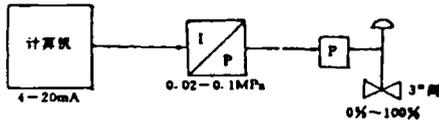


图 5 改进后吹扫控制示意

### 2.4.3 排放控制

原设计吸附床排放的废气进入缓冲罐的流量是有二只手动蝶阀固定开度来控制的。进入混合罐的流量是有二只流量控制阀按程序的设定调节开启速度来控制的,见图 6。

改进后排放的废气进入缓冲罐的流量仍通过手动蝶阀固定开度进行控制,为确保缓冲罐内废气不倒流,所以用二只电磁开关阀来代替二只单向阀。进入混合罐的流量由原来的流量控制改成压力控制,但控制阀信号为方便起见仍用老编号 FC-10307, FC-10308 其示意图见图 7。

为解决 PC 10308 故障时不能修理的问题,在 PC 10308 阀后加一只截止阀,同时缓冲罐顶部的放空阀与 BF 管道连接。在修理 PC 10308 时,可把缓冲罐从系统中隔离出

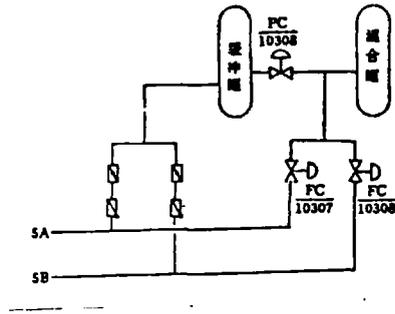


图 6 原设计排放控制示意

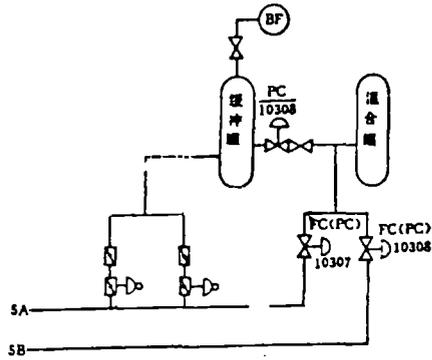


图 7 改进后排放控制示意图

来。在此期间,废气全部进入混合罐,由计算机专门调节回路进行排放控制。

综上所述,PSA 以改造后具有以下几个特点:

- 1) 发生故障后,从 10 床切换成 8 床运行,不影响加氢裂化装置的正常生产。
- 2) 计算机有备机,可避免发生因计算机故障造成 PSA 停车的被动局面。
- 3) 控制回路的改进,可使 PSA 平稳运行,为后续装置的安、稳、长、满、优生产创造条件。

## 3 PSA 的广泛用途

PSA 工艺是由美国联碳公司开发的一项分离气体混合物的新技术。从 1966 年起开

(下转第 14 页)

5。

表 3 前纺 1# 线 1104 孔  
2.5d 原丝测试结果

样本数	520
均值	273.68
均方差	19.74
CV%	7.4

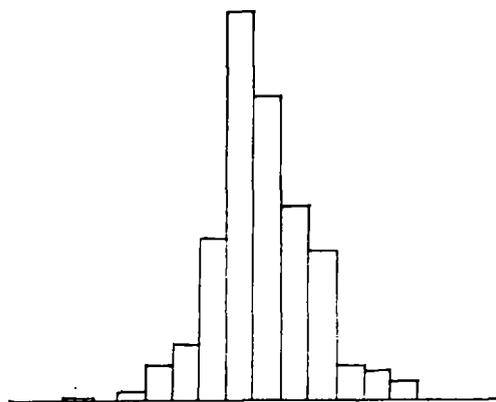


图 5 涤二前纺 1# 测试结果直方图

从表 3 及直方图 5 我们可以清楚的看到,喷丝板孔数减少 1/2,不匀率减小到 7.2%,接近仪征不匀率 6.8%。

在 1983 年初,涤纶二厂与中国纺大取了纺织部定型设备 HV451 型纺丝机的两个部位,开始  $\varnothing 220 \times 2210 \times 0.28$  多孔纺丝的工艺试验与研究,着重探索了密闭式环形吹风在多孔纺丝条件下温度、张力、速度等轴向、

径向分布,用温度计实测纤维在离喷丝板轴向位置上环吹出口处的径向温度,径向温度差每层可达到 10℃,愈至里层,差异愈大。无孔区温度在 200℃ 以上,内外层温差约 170℃ 左右,自 1984 年,涤纶二厂纺丝线开车正常生产以来,工艺人员用温度计对纺丝无孔区温度进行测试,同样得出如此结论。显而易见,目前条件下的环吹风对每层丝的冷却效果差异较大,尤其对里层丝,丝层之间的温差最终反映在 EYS 1.5 测试结果,产生 EYS 1.5 分布宽,不匀率大的现象。

### 4 结论

1) EYS 1.5 测试方法可以取代自然拉伸倍率的测试方法,通过 EYS 1.5 数据可以了解前纺生产情况,并且具有一定的工艺生产指导意义。

2) 从分析数据列表及直方图看到,原丝重要品质指标之一 EYS 1.5,仪征原丝测试结果优于涤纶二厂。

3) 从涤纶二厂 2.5d 原丝 EYS 1.5 分析测试结果看到,减少喷丝板孔数,减少喷丝孔圈数,原丝重要品质指标之一 EYS 1.5 可以接近仪征进口线水平。

4) 环吹风量正常,减少丝层之间温差,有利于原丝质量的提高和稳定。

(上接第 21 页)

始应用于水蒸气转化制氢的氢气提纯过程。因它与常规的化学净化法相比,具有过程简单,工艺流程短,便于操作管理,氢气纯度高,产品成本低等优点,所以在我国的发展也很快。自从上海石化总厂芳烃联合装置引进的 10 床 PSA 于 1984 年底开车成功以来南京扬子公司、南京炼油厂、宝钢总厂、茂名炼油厂、天津炼油厂、齐鲁石化公司、兰州八〇五厂等单位分别从 U. C. C. LINDE, 日本等公

司与国家引进了 3 床、4 床、5 床、6 床、10 床的 PSA 装置。国内西南化工研究院也有多年的 PSA 技术的研究与开发,到 1990 年西南院在国内共设计与建成 PSA 装置有 70 多套,大多数为 4 床 PSA,主要用于合成氨工厂的释放气中氢气的提纯与水蒸气转化制氢的高变气的净化。最近,西南院的 PSA 研究成果已开始向国外输出。随着 PSA 技术的不断改进与完善,这项新技术必将在化工及其他领域中得到更广泛的应用。