

优化变压吸附脱碳工艺减少有效气体损耗

李 刚 母荣新 范培水
(山东肥城市化肥厂 271600)

1 变压吸附 (PSA) 脱碳有效气体损耗的分析
处于吸附步骤的吸附塔内的吸附剂在吸附工作压力下, 选择性地吸附原料气中 CO_2 , 当 CO_2 的吸附前沿到达吸附床出口时, 即停止进料和出料, 吸附步骤停止。吸附步骤停止后, 通过多次均压降, 吸附塔内的有效气体大部分被与其均压的吸附塔回收, 末均降结束后, 吸附塔内残存的绝大多数有效气体则随吸附剂再生过程中解吸出的 CO_2 气体带走而损失掉。末均降结束后, 吸附塔内的有效气体可分为两部分, 一部分存在于塔内死空间, 另一部分则是被吸附剂所吸附的有效气体。

PSA 脱碳装置有效气体损耗的原因, 一是由于吸附塔内存在死空间, 二是由于吸附剂对有效气体存在一定量的吸附。每台吸附塔在再生时, 有效气体中的某组分的损耗与末均降后塔内压力、塔内死空间体积、组分含量、吸附剂性能、塔内吸附剂数量等因素有关。吸附塔在再生时, 因塔内存在死空间所导致的某组分损耗量与末均降后塔内压力、末均降后塔内死空间中某组分含量、塔内死空间体积成正比; 吸附剂对某组分的吸附所导致的某组分损耗量与末均降后塔内压力、末均降后塔内死空间中某组分含量、塔内吸附剂数量成正比, 也与吸附剂特性有关。

PSA 脱碳吸附剂对 H_2 的吸附量很小, H_2 的损耗主要是由于塔内存在死空间所致。PSA 脱碳吸附剂对 N_2 的吸附量要比 H_2 大得多, 由于吸附剂对 N_2 的吸附所导致的 N_2 损耗占 N_2 全部损耗的大部分, 提纯系统的解吸气中 CO_2 含量平均在 97% 以上, 有效气体含量很少。净化系统末均降结束时, 进口端气体成分与中间气接近, 出口端气体中 CO_2 含量仅 3% 左右, 此时吸附塔死空间内大部分为有效气体。逆放 (常压解吸) 结束时, 逆放气 CO_2 含量仅 60% ~ 70%, 其余绝大部分为有效气体。由此可见, PSA 脱碳装置的有效气体损

耗主要在净化系统, 应主要针对净化系统采取措施, 减少有效气体损耗。

有效气体的损耗除与上述因素有关外, 还与净化系统均压时间、再生后塔内压力、均压次数、系统循环时间、生产负荷、单塔有效吸附负荷、吸附压力、吸附温度、吸附剂再生程度、净化气 CO_2 含量、传质区长度、整个吸附床层内吸附剂的利用率、吸附剂再生方法以及中间气流量、中间气 CO_2 含量等诸多因素有关。各因素与有效气体损耗以及各因素之间的关系如下。

(1) 塔内死空间体积越小, 末均降后塔内死空间中有效气体量越少; 末均降后塔内压力越低, 则死空间内及吸附剂吸附的有效气体越少, 有效气体的损耗越小。末均降后塔内死空间中有效气体含量主要与吸附剂对 CO_2 与有效气体中各组分的分离系数和末均降后塔内压力有关, 分离系数越大, 选择性吸附越好, 末均降后 CO_2 解吸量越大, 死空间内有效气体含量越低。末均降后塔内压力越低, CO_2 解吸量越多, 死空间内有效气体含量越低。

(2) 末均降后塔内压力主要受均压时间、再生后塔内压力、均压次数影响, 其中均压次数影响最大。设置的均压时间只需满足实际的均压所需的时间即可。再生后塔内压力越低, 末均降后塔内压力越低。均压次数越多, 末均降后塔内压力越低。以我厂为例, 当采用 5 次均压时, 末均降后压力约为 0.22 MPa, 6 次均压时约为 0.15 MPa, 7 次均压时约为 0.10 MPa, 8 次均压时约为 0.07 MPa。

(3) 系统每经历 1 个工作循环或工作周期, 所有参与运行的吸附塔都要再生 1 次。系统循环时间越短, 单位时间内吸附塔的再生次数越多, 有效气体的损耗也就越大。系统循环时间与生产负荷成反比, 与单塔有效吸附负荷成正比。

(4) 净化系统的生产负荷与中间气流量、中间气中 CO_2 含量成正比,与净化气中 CO_2 含量成反比。根据吸附理论,吸附床层可分为饱和区、传质区、未吸附区三部分,其中传质区的长度与中间气流量、中间气中 CO_2 含量成正比,与净化气中 CO_2 含量成反比。传质区长度与传质系数成反比,传质区越长表示传质系数越小(即传质阻力越大)。

(5) 单塔有效吸附负荷与塔内吸附剂数量和整个吸附床层内吸附剂的利用率成正比。吸附步骤结束时,未吸附区只占很小一部分。传质区长度占整个吸附床层长度的比例愈小,则整个吸附床层内吸附剂的利用率愈高。在整个吸附床层长度不变的情况下,缩小传质区长度能提高整个吸附床层内吸附剂的利用率;在传质区不变的情况下,增大整个吸附床层长度(增加吸附剂数量)也能提高整个吸附床层内吸附剂的利用率。

(6) 单塔的有效吸附负荷除与整个吸附床层内吸附剂的利用率和塔内吸附剂数量有关外,也与吸附剂的性能、吸附剂的再生程度、吸附压力、吸附温度有关。吸附剂的性能越好,吸附剂对吸附质的吸附量越大,单塔的有效吸附负荷就大。吸附剂再生程度越高,再生后塔内吸附质的残余量越小,单塔的有效吸附负荷也越大。提高吸附压力能提高吸附剂对吸附质的吸附量,从而提高了单塔的有效吸附负荷。通过我厂的运行实践来看,降低系统的运行温度也能提高单塔的有效吸附负荷。吸附剂对 CO_2 与有效气体中各组分分离系数越大,因吸附剂对有效气体的吸附所致的有效气体损耗越小。另外吸附剂性能越好,吸附剂再生程度越高、吸附压力越高、吸附温度越低、传质系数越大、床层中传质区的长度越短,整个吸附床层内吸附剂的利用率就越高。

(7) 净化系统采用冲洗工艺时,由于再生后塔内为常压,造成未均降后塔内压力较高,有效气体损耗增大。若采用氢氮气作冲洗气,由于吸附的大部分 CO_2 需冲洗才能解吸出来,需消耗部分氢氮气,这样不仅降低了氢氮压缩机的有效打气量,也增加了氢氮气的损耗。而采用真空解吸工艺时,由于未均降后塔内压力降低且不用冲洗气,所以有效气体的损耗大大降低。

2 降低有效气体损耗的对策

(1) 选用性能优良的吸附剂,并做好吸附剂的保护。吸附剂对吸附质的吸附量要大,因吸附量大有利于提高吸附剂的有效吸附负荷和延长系统循环时间。吸附剂对原料气中各组分间的分离系数也要尽可能大,分离系数大不仅有利于减少因吸附剂对有效气体的吸附所引起的损失,而且有利于获得高纯度的解吸气。PSA脱碳装置对气体中的含油量必须严格控制,有的场合需设除油设施,以免吸附剂在使用中因吸附油污而失效。同时绝对禁止含气态水或液态水的任何气体进入净化系统的吸附床层,也绝对禁止含气态水或液态水的气体从提纯系统顶部进入床层,否则吸附剂将失效。

(2) 增加吸附剂数量,减少塔内死空间体积。吸附塔内除上下两端应各留一小部分空间不装吸附剂以利于气体的均匀分布外,其余部分应全部装填吸附剂以减少塔内死空间体积。因 H_2 的损耗主要是塔内死空间所致,减少塔内死空间体积对提高 H_2 的回收率效果最明显。单台吸附塔内吸附剂数量增加也有利于提高吸附床层的利用率、提高单塔的有效吸附负荷、延长系统循环时间和减少有效气体损耗。

(3) 净化系统采用 8 次(或 7 次)均压和真空解吸工艺。有效气体中各组分的损耗量与未均降后塔内绝对压力成正比,净化系统均压次数越多,未均降后塔内压力和死空间中有效气体含量越低,有效气体的损耗减少。采用真空解吸工艺不仅可降低未均降后塔内压力,也可避免因采用氢氮气作冲洗气造成的有效气体损耗。真空解吸的极限真空度不应低于 0.06 MPa 。

(4) 不宜超负荷运行,中间气中 CO_2 含量应尽量控制在较低水平,净化气中 CO_2 含量不应控制过低。中间气流量、中间气中 CO_2 含量不仅影响净化系统生产负荷,也影响吸附床层的利用率。变换气流量与中间气流量成正比,变换气流量过大,不仅造成系统的阻力增大,也造成有效气体损耗增大,所以 PSA 脱碳装置不宜超负荷运行。中间气 CO_2 含量增高,吸附剂的有效吸附负荷虽然也有所提高,但有效吸附负荷的增幅低于中间气中 CO_2 的增幅,所以中间气中 CO_2 含量越低,有效

制冷压缩机出口气氨冷却系统的改造

谭小术 勾永梁 黄瑞阳 童刚 杨久宜

(四川美丰化工股份有限公司德阳分公司 618000)

四川美丰化工股份有限公司德阳分公司冷冻工序主要通过制冷压缩机将气氨压缩冷凝成液氨,并将该液氨送到氨合成系统作冷却介质,形成一闭路循环,分离氨合成产出的氨。在这个循环路线中气氨冷凝成液氨是非常关键的一个过程,如果控制不好,将会超压放空,容易造成环境污染和安全事故,因而制冷压缩机出口气氨冷却系统的改造显得非常必要。

1 改造前的情况

目前我公司制冷压缩机共 7 台,正常生产时一般开 3~4 台。制冷压缩机出来的气氨是采用循环水作冷却介质,利用 10 台卧式冷凝器将气氨冷凝成液氨,需要的冷却水水量相当大(每台冷凝器是进水管通径 DN300 mm,阀门均是全开)。尽管这样冷却效果还是很差,氨罐压力仍然偏高,在 1.40~1.50 MPa 经常因为超压造成安全阀启

跳,影响环保和安全生产。从多年的生产运行情况看,为了不超压大概每天都要卸压 5~6 次,在阀门全开的情况下,一次持续卸压时间需在 30~40 min。在夏季几乎常放空,不仅增加了操作人员的工作量,而且每次放空的并不全是不凝气,其中含大量的气氨,通过对弛放气取样分析,弛放气中氨含量多数大于 90%,氨损失相当严重。另外由于冷却效果差,致使回收氨的温度较高,冬季一般在 33~35℃,夏季一般在 37~40℃,极不利于氨合成系统氨冷器的冷却。加上我公司所处的地理位置和实际情况,循环水水质非常差,泥垢多,经常造成冷凝器堵塞和结垢,而且锈蚀严重,为了达到冷却效果,每月都要用大量的人力轮流对 10 台卧式冷凝器进行通管除垢和补漏,严重影响正常生产。并且由于国家环保要求越来越严,氨含量高的气不能直接对空排放,必须增设氨回收装置,不仅增加了投资,而且破坏了氨合成系统的氨

气体损耗越小。对于 CO₂ 不回收的企业而言,在提纯系统末均降后塔内死空间中有效气体含量不高和装置能力许可的情况下,中间气中 CO₂ 含量越低越好。而对于 CO₂ 有回收要求的企业而言,可在提纯系统末均降与逆放之间设置放空步骤,中间气控制在 5%~7%,通过调节放空步骤时间来满足对 CO₂ 产品气纯度和气量的需量。净化气中 CO₂ 含量要求越低,则要求吸附床层再生后吸附质的残余量越小,同时传质区长度越长,整个吸附床层内吸附剂的利用率降低,有效气体损耗增大。净化气中 CO₂ 含量一般不应低于 0.4%,所以 PSA 脱碳最好串甲醇装置。

(5) 始终保持较高的吸附压力和较低的温度。保持较高的吸附压力和较低的温度不仅有利于提高吸附剂对吸附质的吸附量,而且有利于提高传质推动力,缩短传质区,提高吸附床层利用

率。系统压力应尽量保持在较高值,系统温度夏季也应控制在 35℃ 以下。

(6) 净化系统逆放初期的气体选择性回收至造气气柜。净化系统逆放初期解吸气中有效气体含量最高,这部分气体可选择性回收至造气气柜。逆放一段时间后,逆放气中有效气体含量低于一定值时,则停止回收,剩余气体作放空处理。

我厂在 PSA 脱碳装置运行初期,也遇到了有效气体损耗高的问题。后来经过深入分析,有针对性地采取了一些措施,有效气体的损耗大幅降低, H₂ 损耗率由 3% 降至 1% 以内, N₂ 的损耗率由 5% 降至 3% 以内。我厂经过 1 年多的生产实践,证明只要有性能优良可靠的吸附剂和程控阀作保障,加之工艺设计合理、操作得当, PSA 脱碳工艺的有效气体回收率可赶上甚至超过其它脱碳工艺,使之成为先进、可靠、节能的技术。