

关于变压吸附解吸气压力能回收的探讨

杨昭君

(山西兰花科技创业股份有限公司田悦化肥分公司)

摘 要:对合成氨厂变压吸附脱碳工艺进行分析,对解吸气压力能回收进行了探讨,表明采用透平发电技术回收变压吸附解吸气压力能是可行性的,具有较大的经济效益和较高的节能减排效果。

关键词:变压吸附;解吸气压力能;回收

0 引言

化工是高能耗行业,是我国CO₂排放和能源消耗的主要领域,加强能源管理、采用新工艺和设备、利用节能技术,实现能源利用与用能需求的匹配,在现有系统中开发新的节能技术,可以实现节能减排目标,助力我国完成碳达峰任务。

1 变压吸附原理分析

物理变压吸附也称范德华吸附,它是由吸附质分子和吸附剂表面分子之间的引力引起的。变压吸附分离气体基本原理是利用吸附剂对吸附质在不同压力下有不同的吸附容量,并且在一定压力下对被分离的气体混合物的各组分有选择吸附的特性,加压吸附除去原料气中杂质组分,减压脱附这些杂质而使吸附剂获得再生。因此采用多个吸附床,循环地变动所组合的各吸附床压力,就可以达到连续分

离气体混合物的目的。

变压吸附脱碳法是根据上述原理,利用选择的吸附剂在一定的操作压力下,选择吸附变换气中的二氧化碳、有机硫、无机硫及气态水等。由于吸附—解吸循环的周期短,吸附热来不及散失,恰好可供解吸之用,所以吸附热和解吸热引起的吸附床温度变化一般不大,吸附过程可近似看做等温过程。

从微观角度讲,在吸附过程中,分子动能变为吸附剂分子间引力场的位能,使吸附质分子吸附到吸附剂上,在解吸过程中的,减压后吸附质克服吸附剂引力场的位能重新回到气相,分子间的引力能变为吸附质分子势能和动能,随分子扩散损失。这部分损失的分子势能和动能可以研究其回收的可行性。

从宏观角度来讲,进出系统气体的压力能进行了传递,床层间保留气体的压力能在多次均压过程中也进行了传递,没有进行均压的解吸气的压力能转化为气体流速,随气体放空离开系统。这部分损失的气体动能可以研究其回收的可行性。

这些随分子扩散损失或者说随气体放空离开系统的能量如果数量可观,则对其进行回收具有重大意义。

2 实例分析

田悦公司脱碳工段采用两段吹扫法物理变压吸附脱碳,第一段为提纯段,将工艺气中二氧化碳含量由 27.5% 脱除到 4~6%,同时塔底出口的 CO₂ 达到 98.5% 供尿素使用。第二段为净化段,将来自提纯段气体中的 CO₂ 含量由 4~6% 脱除到 0.4%,塔顶出口的氢氮气供合成氨生产。

提纯段单个吸附塔流程,当被吸附 CO₂ 的浓度接近床层出口浓度(吸附床饱和)时,关闭吸附塔的进气阀和中间气阀,使其停止吸附,然后通过多次均压逐步降低床层压力到 0.135MPa,一方面充分回收

床层死空间中的氢气、氮气,另一方面增加床层死空间中二氧化碳浓度,再少量放空从 0.135MPa 降压到 0.125MPa 以提高床层二氧化碳浓度,最后逆着吸附方向从 0.125MPa 降压到 0.01MPa,回收解吸 CO₂ 供尿素生产。

本文重点研究田悦公司脱碳系统没有进行均压的解吸气能量回收的可行性。田悦公司正常运行时脱碳工段各点位气体组分如表 1。

根据变压吸附过程,对整个系统来讲,离开系统的解吸气是从逆放阶段开始的,这主要包括两部分,一部分为 CO₂ 产品气,一部分为放空气,此时系统压力为 0.135Mpa(g),离开系统时解吸气变为常压,整个脱碳过程在入塔原料气温度 40℃ 变化不大的状态下进行,所以解吸过程是全部解吸气从 0.135Mpa(g) 减压到常压的过程,可近似地看作等温过程。为方便计算,我们把解吸气中的二氧化碳气体作为计

表 1 五机满量运行各工段气量及组分数据表

项目	组分	H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	N ₂ +Ar	合计
脱碳进口	含量 V%	51.00	1.50	27.50	1.00	19.00	100.00
	气量 Nm ³ /h	61200	1800	33000	1200	22800	120000
	压力 Mpa(A)	1.56	0.05	0.84	0.03	0.58	3.05
CO ₂ 产品气	含量 V%	0.80	0.20	96.70	0.40	1.90	100.00
	气量 Nm ³ /h	179.2	44.8	21660.8	89.6	425.6	22400
	压力 Mpa(A)	0.001	0.0002	0.100	0.0004	0.002	0.103
净化段出口	含量 V%	72.00	1.50	0.40	1.30	24.80	100.00
	气量 Nm ³ /h	60480	1260	336	1092	20832	84000
	压力 Mpa(A)	2.12	0.04	0.01	0.04	0.73	2.95
放空气	含量 V%	3.98	3.64	80.91	0.14	11.34	100.00
	气量 Nm ³ /h	541	495	11003	18	1542	13600
	压力 Mpa(A)	0.004	0.004	0.081	0.00014	0.011	0.100
解吸气	含量 V%	2.00	1.50	90.73	0.30	5.47	100.00
	气量 Nm ³ /h	720	540	32664	108	1968	36000
	压力 Mpa(A)	0.002	0.002	0.093	0.0003	0.006	0.103

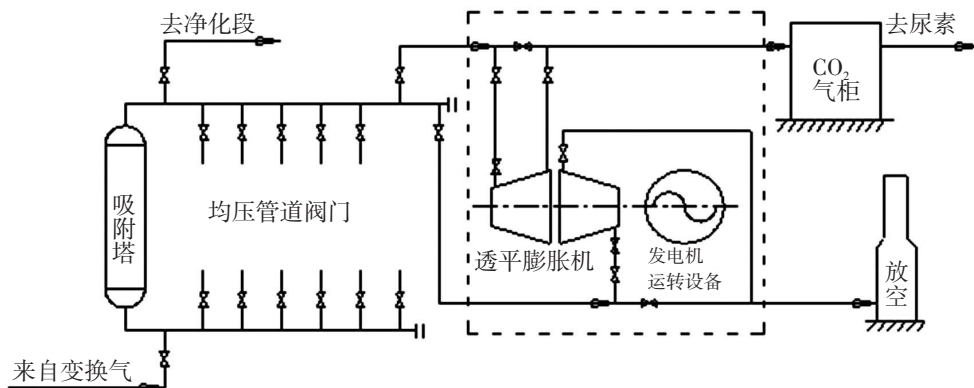


图1 示意图(虚线框内为改造内容)

算主体,其余占比较小的气体暂时忽略,这样计算的结果应该只影响少量的做功负偏差,可以接受。

根据以上条件,解吸工艺气 36000Nm³/h,温度 40℃,CO₂含量 90.73%,初始压力 0.235Mpa(A),最终压力 0.103Mpa(A),按照等温膨胀计算 CO₂在此过程中的膨胀功。

根据热力学第一定律,按照理想气体等温膨胀做功公式 $W=nRT\ln(P_1/P_2)$

可得:

$$W=(36000*90.73\%/22.4*1000)*(8.314)*(273+40)*\ln(0.235/0.103)=3129955519.48J$$

$$N=W/3600=3129955519.48/3600=869432(W)=869.432kw$$

这是一笔巨大的能量,如果全部回收,年按照 8000 小时计算,可实现能量回收 695.5 万 kw·h,折合标煤 854.47 吨,按照 0.5 元/kw·h 计算,年可节约电费 347.7 万元。

由此可见,对我公司脱碳解吸气压力能进行回收意义重大,节能、经济效果都很明显。

3 改造思路

气体压力能的回收通常采用膨胀做功的方法,主要有活塞式、螺杆式和透平式,或者拖动运转设

备,或者用来发电。膨胀机效率反映膨胀机性能的好坏,机器内部损失少,实际焓降大,越接近理想的焓降,则效率越高。由于本系统工况气体压力低,膨胀比小,流量和压力波动大且变化频繁,输出功率随工况变化波动较大,参照高炉煤气余压透平发电装置,建议采用透平膨胀发电或拖动运转设备对这部分气体余压进行能量回收,且透平膨胀机在能量回收过程中仅消耗解吸气的压力能和热能,并不改变解吸气的组份,不影响原系统各用户的正常使用。低压透平膨胀机的效率可超过 80%,新型高效透平膨胀机的效率已可超过 86%。

改造方案结合公司现场,将产品 CO₂气和放空气管线分别接入膨胀机,再返回原管线,透平机进口设置快切阀,原管线设置旁路阀,方便膨胀机故障时切出不影响原系统正常运行(见图 1)。

4 结束语

通过初步分析,在田悦公司采用透平膨胀对变压吸附解吸气进行余压能回收技术上是可行的,节能、经济效益显著。变压吸附设计单位应结合透平机节能专业技术,尽早将该节能技术运用于实践进行推广,减少碳排放的同时创造经济效益。