

# 分子筛型空分装置在化工企业的应用前景

梁 树 熊

(兰化大化肥筹备组)

本文扼要介绍了分子筛型空分装置与冻结式空分装置在工艺原理上的差异,综合评价了分子筛型空分装置在产品构成、设备布置、安全性能、投资、能耗等方面的优点以及今后的发展趋势。

关键词:装置特点 增压膨胀机 投资与能耗比较 空气分离

## 1 分子筛型空分装置发展趋势

自五十年代以来,大中型空分装置先后经历了铝带蓄冷器流程,石头蓄冷器流程,切换板式换热器流程以及分子筛净化流程等四次较大的工艺改革。至七十年代末,增压膨胀机成功地应用于分子筛型的空分装置,使空分装置在技术上又上了一个台阶。

铝带型、石头型以及切换板式换热器型的空分装置都属于冻结法净化空气的空分装置。在这一类装置里,空气中的水分与二氧化碳是在切换式换热器里除去的,其原理可简要说明如下:原料空气在进入精馏塔之前,先通过切换式换热器(铝带蓄冷器、石头蓄冷器或切换板式换热器),与精馏所得低温产品(氧气及氮气)进行热量(或冷量)交换,原料空气被冷却到所需要的低温,而精馏产品则被复热到常温。切换式换热器为成对设置,一组走空气时,另一组走氧气或氮气,定期切换。原料空气在冷却至低温的过程中,空气中的水分与二氧化碳被冻结在换热器的通道里,在切换之后,原先走空气的通道改为走氧气或氮气,原先冻结在换热器通道里的水分

与二氧化碳因升华作用而被精馏产品带出换热器。这种类型的换热器兼有换热与净化这两大作用。

分子筛型的空分装置,其原料空气中的水分和二氧化碳的净化原理与冻结式空分装置的净化原理不同。原料空气在进入板式换热器之前,先通过分子筛吸附器,把水分与二氧化碳除去,然后进入板式换热器(也称主换热器),与低温精馏产品进行热量交换,从而被冷却到所需要的低温。由于进入板式换热器(即主换热器)的空气是不含水分和二氧化碳的洁净空气,所以不存在换热器通道被水分与二氧化碳冻结的问题,空气通道与精馏产品通道不需要切换。分子筛型的空气装置也可称作空气预净化的空气装置。

分子筛型空分装置与冻结式空分装置相比,优越性是明显的。

六十年代以前,由于分子筛性能不够理想,仅应用于一些小型的空分装置。随着分子筛性能的不断提高以及板式换热器技术上的日臻成熟,带分子筛吸附器的全板式全低压的大中型空分装置逐渐取代了传统的冻结式净化的空分装置。

大中型分子筛净化的空分装置最先由德国林德公司研究成功。自1960年以来,林德公司设计制造并已成功投入运行的大中型分子筛净化的空分装置计350套以上。

1979年以来,我国也陆续引进了国外的分子筛型空分装置。其中,从林德公司引进6000型一套( $m^3O_2/h$ ,下同),10000型一套,3000型二套;从法国引进20000型一套;从美国引进35000型一套,30000型一套;从日本引进12000型一套。我国杭州制氧机厂经过消化吸收,也先后自行设计制造了五套6000型,两套10000型分子筛净化的空分装置。

可以预见,在今后较长的一段时间里,分子筛型的空分装置将在大中型空分装置中占据优势地位。

## 2 分子筛型空分装置的流程特点

如图1所示,原料空气先经过水塔预冷。水塔分为二段:在下段,空气被普通循环水冷却降温;在上段,空气被 $6^{\circ}C$ 的低温水冷却至 $8^{\circ}C$ (这是分子筛吸附器所要求的低温),然后进入分子筛吸附器。

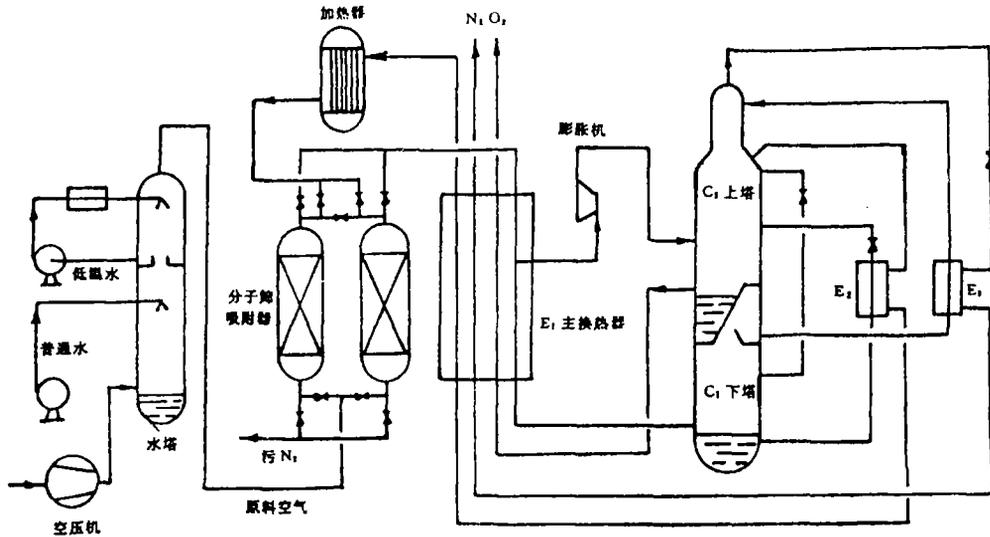


图1 分子筛型空分装置流程图

分子筛吸附器共两个,每4小时切换一次。空气通过分子筛床层时,其中所含的水份、二氧化碳、乙炔及其它碳氢化合物被分子筛吸附。离开分子筛吸附器的洁净空气进主换热器,被精馏产品冷却到 $-170^{\circ}C$ 进精馏下塔。

原料空气在精馏下塔( $C_1$ )分离为三种产品:底部为含氧38%的液态富氧空气,中部为含氮98%的污液氮,顶部为含氮99.99%的纯液氮。

富氧液空经过过冷器( $E_2$ )被上塔产品污氮过冷,节流后进入上塔38块塔板,作为上塔( $C_2$ )的精馏料液。下塔中部的污液氮经节流进入上塔48块塔板,作为上塔的回流液。下塔顶部的纯液氮经 $E_3$ 过冷,进入上塔70块塔板,作为上塔顶部的回流液。

上塔的精馏产品有三种:下部取出99.6%的氧气,从第48块塔板处取出含氮98%的污氮,顶部取出99.99%的纯氮。这三

种产品进入主换热器,复热后离开。氧气和纯氮作为产品输出,污氮气通过蒸汽预热器加热到 200℃,用作分子筛吸附器的再生气源。

从主换热器空气通道的中部抽取一股空气(约占原料空气总量的 10%)进入透平膨胀机,膨胀降温后送入上塔第 35 块塔板,作为上塔精馏的一部分原料气。它是整个装置的主要冷源。

分子筛型空分装置有以下主要优点:

(1) 流程简化,冷箱内设备大大减少。

原料空气经分子筛吸附器后,除去水份、二氧化碳、乙炔及其它易爆组份。这样,冷箱内不必设置液空吸附器、液氧吸附器及循环液氧泵。

由于主换热器中的空气通道与污氮通道不需要定期切换,因此不必设置切换阀与自动阀箱。

分子筛吸附器系统本身能够提供干燥气源,所以不必再单独设置仪表空气系统以及用于装置加温解冻的干燥空气系统。

(2) 可以提取较多的纯氮产品

在冻结式净化的空分装置里,由于切换式换热器有自清除水份与二氧化碳的要求,污氮量不能小于加工空气量的 50%,这就限制了纯氮的取出比率。一般的切换式空分装置,纯氮取出量与氧取出量之比不超过 1.1:1。分子筛型的空分装置中,污氮取出量的确定,不需要考虑主换热器的自清除问题,仅仅只须考虑分子筛吸附器的再生气用量,而该数值远低于加工空气总量的 50%,因此纯氮取出比率可大大提高。通常,纯氮量与氧量之比可以达到 1.5~2:1。

(3) 装置安全性能提高

分子筛对于容易引起爆炸的不饱和烃类有很好的吸附性能。即使取消了液氧吸附器与液氧泵,主冷中的乙炔及其它碳氢化合物的含量仍能符合规定。

鉴于分子筛型空分装置安全性能的提高,国外有的公司已放宽了关于乙炔、碳氢化

合物含量的控制标准。

(4) 由于取消了需要定期交换加热的液空液氧吸附器,可减少因频繁加热冷却而引起的意外泄漏。装置的使用可靠性相应大大提高。

(5) 主换热器没有定期切换的问题,不容易发生泄漏。由于分子筛吸附器每 4 小时切换一次,比切换式流程的切换频率低得多,因此上、下塔压力波动较小,这一点有利于精馏效率的提高。

(6) 经分子筛吸附器净化后的空气是干燥空气,因此管线及设备的腐蚀问题相应减少。

(7) 由于空气进主换热器之前,水分与二氧化碳已经除去,开车方法可以简化,短时间停车后的开车也更加方便。由于取消了需要定期切换加热的液空吸附器、液氧吸附器,整个装置容易实现全自动操作。

林德公司关于大气中乙炔、碳氢化合物含量

表 1 的控制标准

项目	切换板式换热器流程	分子筛型流程
有害成份	乙炔 < 1PPm	乙炔 < 10PPm
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> < 10PPm	C <sub>2</sub> < 10PPm
控制标准	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> < 10PPm	C <sub>3</sub> < 10PPm
	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> < 0.5PPm	

### 3 增压膨胀机在分子筛型空分装置中的应用

在普通型的膨胀机里,它的工作轮与一个风机轮相连。气体膨胀所作的功,消耗在风机轮上。风机轮起着制约膨胀机转速的作用。风机轮从大气中吸入空气,压缩后再排入大气。

所谓的增压膨胀机是指它的风机不是吸入大气,而是吸入膨胀前的空气。压缩后,空气压力升高,然后再进入膨胀机的工作轮进行膨胀。

从分子筛吸附器来的原料空气分为两股：大部分进入主换热器，小部分（约占原料空气总量的 10%）进入膨胀机的风机轮进行增压。增压后的空气，先经过水冷器冷却至室温，再进入主换热器冷却到适当的低温，然后进入膨胀机的工作轮进行膨胀。这时，气体膨胀所产生的功相当于膨胀前气体压缩所需要的功。

采用增压膨胀机，可以使膨胀前的空气压力从通常的 0.58MPa(A)，提高到 0.83MPa(A)。(如图 2 所示)

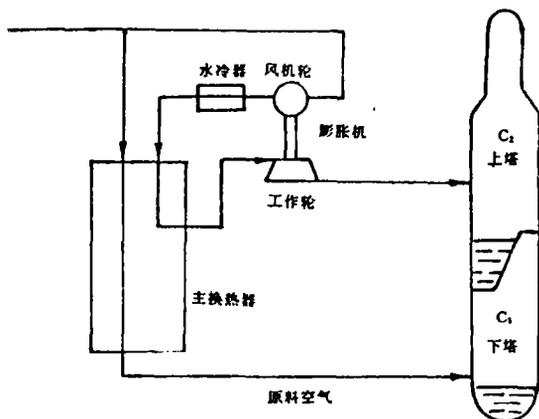


图 2 增压膨胀机原理图

膨胀机的制冷量与膨胀前的压力有关。在相同的膨胀终压条件下，膨胀前的压力越高，则膨胀前后的温差越大，即制冷量也越大。由于整个空分装置所需补充的冷量是一定的，对于产生同样多的冷量来说，采用增压

膨胀方式，膨胀机通过的气量可以相应减少（一般可以减少 20%），有利于上塔精馏效率的提高。采用增压膨胀机是这类装置氧提取率得以提高的主要原因。

#### 4 分子筛型空分装置与切换板式换热器的空分装置在设备投资与能耗上的比较

按相同数量的氧气产量来比较时，分子筛型空分装置的设备投资约高 2% 左右。这是因为它虽省去了液空液氧吸附器，但增添了一套比较庞大的分子筛吸附器以及为了提供 6℃ 左右低温水所需要的独立的冰机系统。总的说来投资有所增加。

同样，在比较这两种装置的能耗时，如果单以氧产量来核计，分子筛型的空分装置其能耗约高 5% 左右。其能耗的高出部份主要是用于冰机的耗能以及分子筛再生所需要的热能。

但是，在化工厂及一些冶金企业里，氧气与氮气都是有用产品。单以氧气产量来核计能耗显然是不合理的。分子筛型空分装置中，氮气产量可大幅度增加，因此，以（氧+氮）来核计时，能耗将有大幅度的下降。同样，以单位有用产品来核计的投资费用也将大大下降。这是分子筛型空分装置迅速取代切换式空分装置的重要原因。

下表列出几种不同类型空分装置的氧提取率及能耗的比较数据。

表 2 10000m<sup>3</sup>/h(氧)空分设备三种流程的计算结果

流程类别	加工空气 (m <sup>3</sup> /h)	加工空气 压力 (MPa)	氧气提取 率 (%)	膨胀空气 量 (m <sup>3</sup> /h)	能耗相对值 (以氧计)	能耗相对值 (以氧+氮计)
切换板式 流程	55000	0.64	87.34	10700	1	1
分子筛流程(膨 胀机不增压)	52000	0.66	92.39	9630	1.049	0.63
分子筛流程(膨 胀机增压)	49830	0.66	96.41	7100	1.048	0.61

(下转 282 页)

表 8

序号	项目	单位	指标	结果
1	五所抽样江都专塑厂制作 19 线 规单线。制线速度 V=700m/min			
a	抗张强度	MPa	≥20.68	34.87
b	极限伸率	%	≥300	776
c	冷弯-40℃	F	≤0/10	0
d	加热回缩	%	≤5	<0.5
e	老化后缠绕	F	≤0	0.5
2	大连通讯电缆厂制作并加封的 26 线 规单线。制线速度 V=900m/min			
a	抗张强度	MPa	≥20.68	39.21
b	极限伸率	%	≥300	721
c	冷弯-40℃	F	≤0/10	0
d	加热回缩	%	≤5	0.025
e	老化后缠绕	F	≤0	0

测试依据: YD-322-84

邮电部第五研究所对用 E-842 产品生产的芯线也进行了抽样监测。结果见表 8。邮电部第五研究所的结论意见是:“符合 YD-

322—84 技术要求,完全可以用作通讯电缆绝缘”。

## 5 结 束 语

采用弹性体增韧均聚 PP 生产绝缘料,技术成熟,生产工艺合理,适合工业化生产。从对产品的测试数据和产品的应用情况表明,在赋予共混物产品良好的低温冲击性能的同时,仍然可以保持 PP 的优异特性,其他各项性能均衡,完全可以满足电线电缆绝缘用料的技术要求。而且在线缆挤出生产中加工性能优良,着色性好。生产的芯线手感光滑、细腻,芯线线径圆整,是国内生产电线电缆绝缘用优选材料。

### 参考文献

- [1] 江明:高分子材料字与工程
- [2] K·-D·Rumpler. Kunststoffe. 1988;78[7]605
- [3] 吴培熙、张留诚编著聚合物共混改性原理及工艺
- [4] Visho shah 著.徐定宇、王豪忠译.塑料测试技术手册
- [5] 塑料科技 1986.(3)1988:(4)

(上接 240 页)

国内 10000 空分与 6000 空分考核数据  
表 3 (分子筛型装置,膨胀机不增压)

参数			10000 空分		6000 空分	
			设计值	考核值	设计值	考核值
氧气	产量	m <sup>3</sup> /h	10000	10236	6000	6035
	纯度	%O <sub>2</sub>	99.6	99.67	99.6	99.68
纯氮	产量	m <sup>3</sup> /h	18000	18943	13000	13299
	纯度	PPm.O <sub>2</sub>	<10	1.18	<100	10
空气量		m <sup>3</sup> /h	55850	55850	33500	33500
空气压力		MPa(G)	0.58	0.57	0.59	0.593
空压机功率		kW	5221	5763	3240	3164
能耗		kW·h/m <sup>3</sup> O <sub>2</sub>	0.5622	0.5741	0.571	0.556
能耗		kW·h/m <sup>3</sup> (O <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> )	0.2008	0.2004	0.18	0.174

## 5 小 结

(1) 分子筛型空分装置具有流程简化,冷箱内设备少,安全性能好,氮气产量高,操作简便等一系列优点。在今后较长一段时间里,它将成为大中型空分装置的基型。

(2) 单独以氧气产量来核计,分子筛型空分装置的投资与能耗稍高于切换板式换热器的空分装置。以有用产品(氧+氮)来核计时,其投资与能耗大大降低。因此,分子筛型空分装置特别适用于用氮量大的化工企业。