

· 设计制造 ·

现代空分设备的基型

—分子筛净化空分流程*

中国空分设备公司 林战生

阐述分子筛净化空分设备的开发和应用,指出当前与可逆式空分设备的竞争焦点仍然是能耗和可靠性两个方面。节能措施是采用增压膨胀回路,改善分子筛性能,采用双层床吸附。其结构大型化,目前有立式、卧式和同心圆径流式双层床三种。由于分子筛净化空分设备具有明显的特点和优点,可以断言,现代空分设备的基型流程,必将会被分子筛净化空分流程所取代。图8表1。

一、开发与应用

如众所知,在本世纪六十年代,国外的小型空分设备已开始用分子筛吸附器清除空气中的水份和二氧化碳,成功地替代了碱洗塔。我国的试验研究也相应开展并逐步对小型空分设备进行改造。回顾一下所存在的问题,就是氮气产品约有一半用于分子筛自身的再生;其次是分子筛的性能不理想。如今,这些问题均基本解决,所以在小型空分设备上采用分子筛净化工艺已无争论了。

然而,在大中型空分设备中,采用分子筛净化工艺,问题就要复杂得多。

首先,自从可逆式换热器替代蓄冷器以来,自清除水份和二氧化碳的系统比较完善,且能满足长期运转的要求。其次是分子筛净化空分设备需作空气预冷和分子筛再生,从而要多耗能5~8%。

但另一方面,分子筛净化工艺又能冲破可逆式换热器自清除的约束,可获得纯产品量(指不含水份和二氧化碳)超过加工空气量的50%,甚至可达80%。这一点,对某些化工部门具有吸引力,并作为特殊的用途予以应用。事实上,在七十年代,分子筛净化空分设备的数量是很有限的,空分容量不大于10000 Nm³/h(氧)。大部作为样机或作中间试验用。可是如今情况已大为改观,国外许多空分设备制造厂几乎没有可逆式空分设备的订单了,并宣称今后可逆式空分设备只有当作特殊用途才提供。

这种出人意料的变化究竟是什么原因呢?

二、能耗方面的竞争

要使大中型空分设备普遍采用分子筛净化工艺流程,首先要降低能耗。世界各国经十余年的研究,已取得显著的成果。

1. 采用增压膨胀气体回路

图1为最近推出的分子筛净化增压膨胀空分流程。膨胀空气增压后能有效地减少膨胀气量,提高提取率和降低能耗。林德公司对20000 Nm³/h空分设备所作的详细计算表明:在相

* 本文为“空分设备新技术展览、交流、交易会”专题报告 ——编者

同的能量消耗时,分子筛净化增压膨胀流程比常规的可逆式流程可增加产量,氧气为 2%,氩气为 13.5%,氮气为 30~35%。

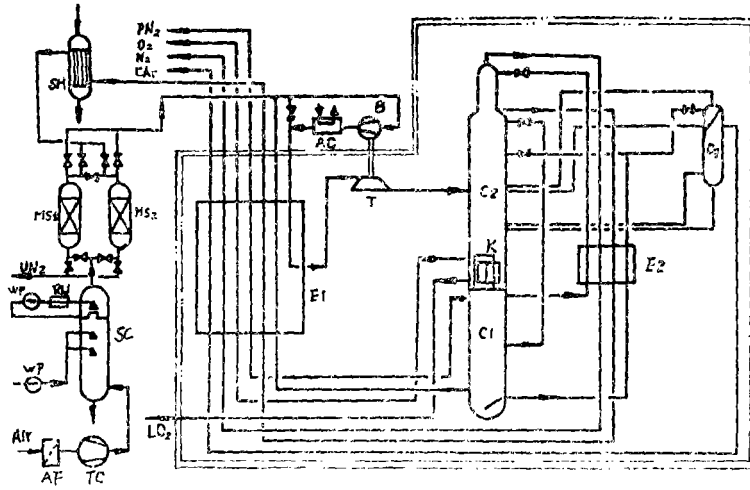


图 1 分子筛净化增压膨胀空分流程

(图中符号见图 2 说明)

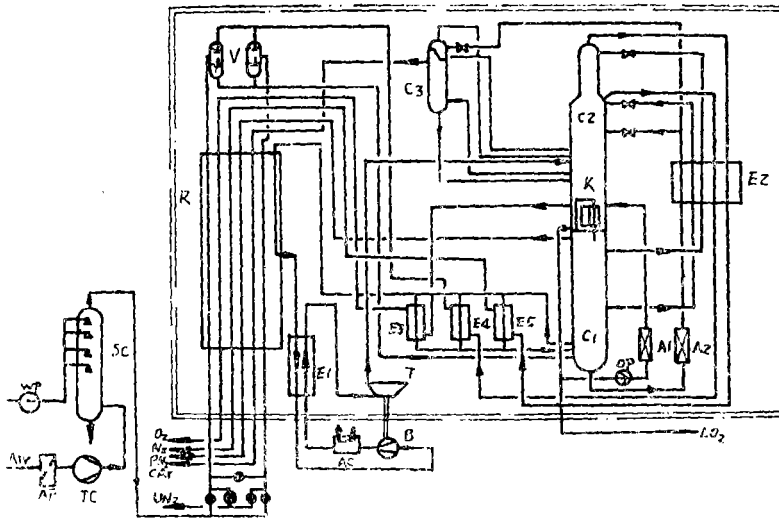


图 2 可逆式增压膨胀空分流程

- AF——空气过滤器 TC——空压机 SC——喷淋冷却塔 RU——冷冻机组 MS——分子筛吸附器
- SH——加热器 E1——主换热器 R——可逆式换热器 V——自动阀箱 WP——水泵 E3——氧液化器
- E4——污氮液化器 E5——纯氮液化器 E2——过冷器 C1——下塔 C2——上塔 C3——粗氩塔
- K——主冷凝器 A1——液氧吸附器 A2——液空吸附器 OP——液氧泵 T——透平膨胀机
- B——增压风机 AC——主冷却器 Air——原料空气 UN₂——污氮 CAr——原料氩(粗氩) PN₂——压力氮
- N₂——产品氮 O₂——产品氧 LO₂——液氧

从原理上讲,带增压机的膨胀气体回路也适用于可逆式流程,如图 2 所示。这对提高提取率和降低能耗同样也是有效的。不过,分子筛净化增压膨胀流程比它简单得多。从流程角度,分子筛净化流程切换次数少,对塔的扰动小,氧和氩的提取率仍高于可逆式流程,当然前者

还具备制取大量纯氮气的条件。因此,目前公认为最佳的空分流程。下面再对这两种新流程的能耗作一个概略的分析。现把在工业条件下得出的主要差别列于表1。

关于空压机排压,分子筛净化流程要比可逆式流程高0.2bar(巴),这是由于污氮气作为再生气需克服加热器和分子筛吸附器的阻力,使得精馏塔的操作压力相应增高。这也使膨胀机前后的压比有差别。不过反映在制冷量(即功率)上差别不大。再计及两种流程的冷损,所要求的膨胀气量几乎相等。空压机排量的差异,这里主要是考虑切换损失不同。

对于冷冻机和加热器的能耗,则是附加的,因此应力求降低。

2. 减少附加能耗的措施

(1) 改善分子筛的性能

目前国外已研制成功13X APG空分专用分子筛(13X Air Plant Grade)。

在吸附性能方面,在15~20℃的吸附温度下仍具有较高的吸附容量。如图3所示。1线为原13X分子筛,2线为改进的13X分子筛。 t 为吸附温度, α 为转效载荷。应用这种分子筛,可以取消空气在吸附前的预冷或者只需要少量的冷冻量即可。

在再生性能方面,这种分子筛也能适应中等温度再生。如图4所示,再生温度可由原来的200℃(t_1)降到130℃(t_2),I为再生气体进口温度变化,II为出口温度变化。

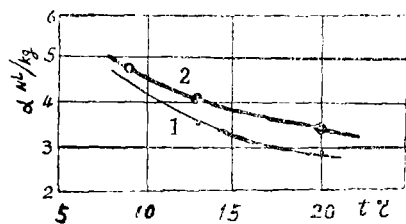


图3 吸附容量比较

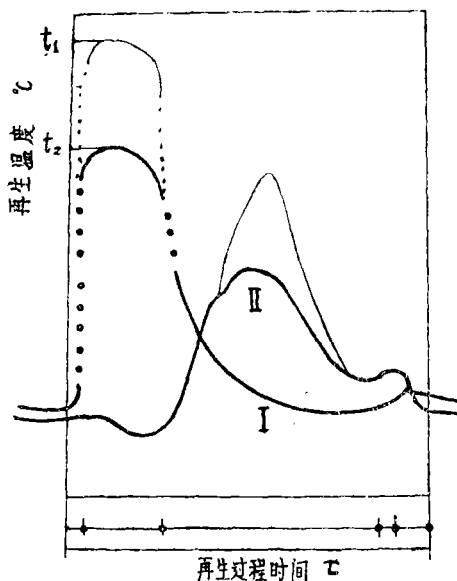


图4 再生温度比较

(2) 采用双层床吸附

应用活性氧化铝(铝胶)吸附水份和分子筛吸附二氧化碳的双层床吸附工艺,能有效地减少再生能耗。其原因是铝胶解吸水份容易,用中等温度甚至无热再生均可。另外,铝胶的水份吸附热比分子筛的要小,在吸附水份时,空气温升就小一点,这对后一段吸附二氧化碳有利,同样,解吸二氧化碳时,所需的热量也少了。

双层床吸附的另一个优点是铝胶能抗大气中酸性水源的侵蚀,起到保护分子筛的作用。

表1 分子筛净化与可逆式两种空分新流程的比较

项 目	分子筛净化	可 逆 式
空压机排压	$P+0.2\text{bar}$	P
空压机排量	V_A	$1.02V_A$
膨胀机功率	N_T	$1.02N_T$
冷冻机能耗	W_{RU}	—
加热再生气能耗	W_{MS}	—

再生温度的降低, 意味着能耗减少。最近据国外报道, 用 UCC 13X APG 分子筛, 在 82℃ (180°F) 下再生已连续运转两年无问题。

(3) 其它节能措施

美国 APCI 对分子筛吸附系统的节能问题作了详尽的研究, 并认为几种节能措施可视具体情况搭配, 均能收到满意的效果。图 5 示出节能效果, 表明采用了某种节能措施后, 再生所需的能量占空压机能量的百分比。其中:

- I —— 常规的再生法;
- II —— 采用热脉动再生法;
- III —— 采用热脉动再生法并利用压缩机的余热;
- IV —— 采用热脉动再生法, 利用压缩机的余热, 并使吸附器局部绝热。

由上可以看出: 再生能耗双层床比单层床少, 并且能达到再生能量的低值。

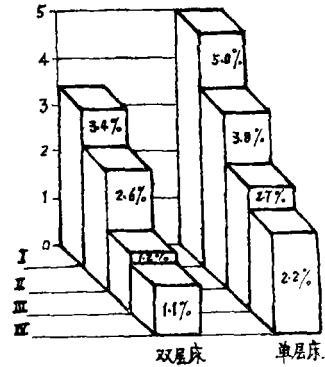


图 5 吸附器再生所需的能量

三、可靠性讨论

目前, 大中型可逆式空分设备运转周期(指两次大加温的间隔)达 1~2 年。那么分子筛净化空分设备的运转周期应更长些。理由如下:

- 碳氢化合物去除彻底。
- 主换热器不受交变应力作用。
- 分子筛吸附器出口是干燥空气, 对管道和换热器无腐蚀问题。
- 不存在低温吸附器再生时的冷热交替操作。

正如象可逆式空分设备那样, 或由于板式单元结构不良, 或由于操作不慎会造成水份和二氧化碳自清除能力下降, 分子筛净化空分设备也会因吸附器的结构不良或操作不慎而产生问题。

对分子筛吸附器来讲, 床层平稳和气流分配均匀是很重要的。当前存在的问题是在结构上予以注意了, 但在操作上却忽视了。林德公司指出: 在空分设备启动时, 大量空气吸入下塔液化, 是造成空气流速加大的主要原因。特别是在短期停车后的冷态再启动, 由于主冷凝器温差大, 加速液化, 可使下塔压力只有 2.5bar。我国分子筛净化空分设备亦曾发生过数次由于空气流速过快而使吸附器床层受到冲击。与此同时, 空冷塔也伴随着带水的事故。这就表明, 只要在操作中摸清习性, 总结经验, 这类问题是可以避免的。为了使设备运转更加可靠, 可设置吸附器阻力自动控制系统, 用以调节通过的空气流量, 这也是容易实现的。

关于分子筛的使用寿命, 七十年代通常只保证三年, 其后延长至五年。而现在可以使用七~八年。美国有的分子筛吸附器运行十多年仍未更换。随着分子筛使用寿命的延长, 更增强了竞争力。

四、结构大型化

为适应各种容量的空分设备, 分子筛吸附器结构也是多种多样的。

1. 立式吸附器

立式吸附器(图 6)应用于中型空分设备, 具有结构简单的优点。6000Nm³/h (氧)空分设

备配用的吸附器直径约为3500mm, 吸附床层高度约800mm。

2. 卧式吸附器

当空分容量增大, 采用卧式结构(图7)能较好地解决床层高度问题, 仍能使阻力降较小。但床层的截面过于庞大, 气流分配和保持床层的平整较困难, 也有在床层上方设置耙平机构的。30000Nm³/h(氧)空分设备配用的吸附器直径约为4200mm, 长度约为14m, 床层高度约为800mm。

3. 同心圆径流式双层床吸附器

随着空分设备向大型化发展, 分子筛吸附器须进一步与之相适应。法国空气液化公司推出同心圆径流式双层床吸附器的结构, 外层为铝胶, 内层为分子筛(见图8)。它综合了双层床的减少再

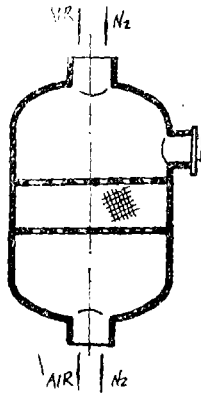


图6 立式吸附器

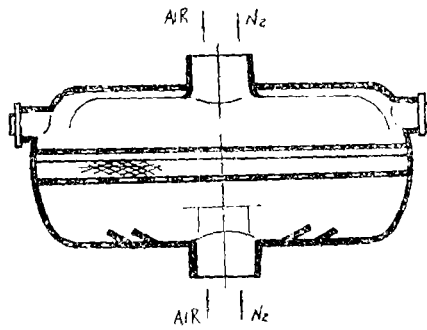


图7 卧式吸附器

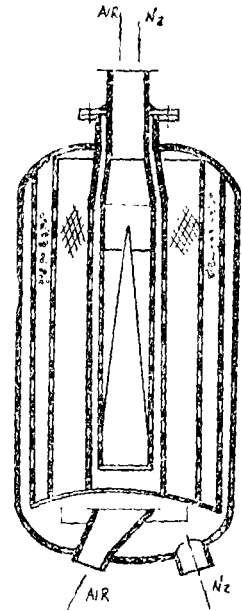


图8 同心圆径流式吸附器

生能耗和使用寿命长的优点外, 还具有以下的优点:

- 比较好地解决气流分配不均的问题。
- 充分利用容积空间, 减少占地面积。
- 切换时床层不会上升。

因此这种吸附器特别适用大型空分设备。该公司为南非SASOL提供的4号空分设备容量为2500t/d(72000Nm³/h氧), 吸附器筒体直径为5000mm, 高度15m。

综上所述, 分子筛净化空分流程是在激烈的竞争中发展和完善的。它的固有特点是显而易见的优点, 再加上吸附器结构的不断创新和有很强的适应性, 越来越受到人们的重视。可以断言, 分子筛净化空分流程将会成为现代空分流程的基本型式。

告 读 者

本刊由于人、财、印、发等方面存在一些困难, 脱期较正, 谨向读者致歉。我们将尽力克服困难, 继续办好刊物。1987年将开辟空分设备焊接技术方面的讲座。空分展交会专题报告及林德公司第五届空分装置讨论会论文, 下

期及1987年度本刊将继续刊出。欢迎读者继续订阅。为避免投递不到, 务请详告地址、单位、部门、姓名。欢迎来稿, 但因人力有限, 不一一复退, 请自留底稿。

——编者