

在空分设备中采用分子筛二十年经验

Wilhelm Rohde, München-Fürstenried

【内容摘要】 简单回顾了林德公司铝胶(或珠光砂)及分子筛干燥吸附的发展情况。列出了串联分子筛吸附器的空分流程及带蓄热器的分子筛再生装置流程。再生采用一股热脉冲进行,相应提出了带内绝热层与带内筒空间的吸附器结构,并提出了径向气流的立式圆柱型吸附器。它们对空分设备的经济性与安全性都有决定影响。图6。

1954年林德公司制造出第一批用吸附器清除空气中水份和二氧化碳的空分设备,这种二氧化碳吸附器约在 -125°C 下运转,它大多在空气压力为 $8\sim 20\text{bar}$ (巴)的中压空分设备中使用。这种空分设备,已申请专利权共制造了150台,其中最大的可将 $200000\text{Nm}^3/\text{h}$ 空气分离成 $40000\text{Nm}^3/\text{h}$ 氧、 $110000\text{Nm}^3/\text{h}$ 氮和 $1200\text{Nm}^3/\text{h}$ 氩。

这种类型的设备(图1),采用两组吸附器,分别用不同的吸附剂清除水份和二氧化碳。在常温下清除水份的吸附器,装入铝胶或林德珠光砂W(含水硅胶);在约 -125°C 下清除二氧化碳的吸附器,装入林德珠光砂N(微孔硅胶)。在其中除吸附二氧化碳外,也可以清除危险的碳氢化合物,如乙炔等。

六十年代初在市场上出现了常温下可同时经济地清除水份和二氧化碳的所谓“分子筛”,而且它同时还可清除对于空分设备十分危险的碳氢化合物,如乙炔。这是一种十分有利的副效应。这种所谓共吸附的分子筛,为了彻底清除吸附的水份,需要 300°C 以上的再生温度。在过去几年中,清除水份时解吸时间长,通常需 $12\sim 24$ 小时,而清除二氧化碳只需 $8\sim 12$ 小时。这在工作时间相似的情况下,对于装有分子筛的容器尺寸要求就较大,同时由于分子筛较贵而使投资成本较高。

切换时间缩短的经验是在带着冷器的空分设备上取得的。当时我们建了一台以“瞬时或短周期吸附器”著称的空分设备吸附器试验台位。提出研制“瞬时吸附器”的原因是因为当时分子

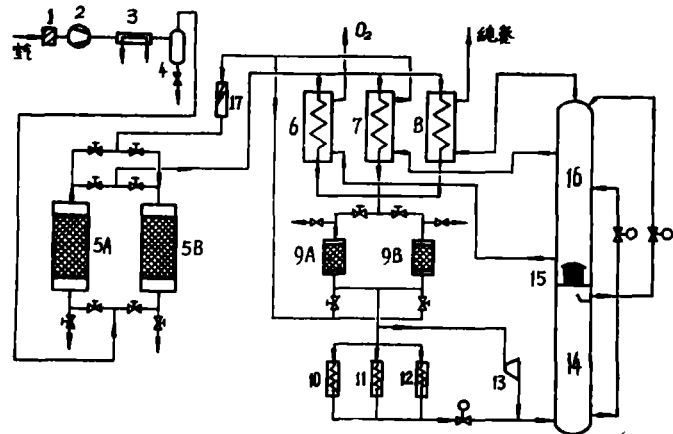


图1 设空气水份吸附器和二氧化碳吸附器的空分设备流程

1. 过滤器 2. 空气压缩机 3. 冷却器 4. 分离器 5A、5B. 水-吸附器 6、7、8. 换热器 9A、9B. 二氧化碳吸附器
- 10、11、12. 液化器 13. 透平膨胀机 14. 下塔 15. 冷凝器
16. 上塔 17. 再生加热器

筛成本较高。在第一批分子筛台位试验中，人们还发现其它优点，主要是：①采用一般所谓的热脉冲进行再生，这意味着节能；②再生气体温度相当低，这样可利用废热；③由于床层较低和压力损耗较少，再生时可不用再生鼓风机。

随着热脉冲方法的采用，再生气体进入吸附器的热量使再生气体出口温度上升幅度很小，因此再生所必须的能量为最少。按照愿望，一个分子筛台位也可配置一个导流和控制系统，它们在再生时可按空气进口状况，最佳地控制和调节周期和能耗。

由于床层较低，压降亦小，再生气体可不采用鼓风机升压，直接从空分设备通入需再生的吸附器中。这样不仅节约能量，同时也因省掉一台机器而提高设备的安全性和使用性。它仅用一种吸附剂，再生温度低，再生能耗也省，同时又能清除危险的碳氢化合物，在低温领域不用再生鼓风机也能维持其正常工作，这在世界上已成为分离空气的固定组成部分。

林德公司在最重要的工业国拥有专利权，同时已按此原理制造三百余台空分设备(图2)。

利用不同的吸附剂来分离水份和二氧化碳(双层床吸附器)，并在 0℃ 以上运行，再生温度目前可降到 80~160℃。

鉴于安全方面的原因，在可逆或带蓄冷器的空分设备中为清除危险的碳氢化合物，还须在低温区设置液体吸附器。

如上所述，再生过程采用一股热脉冲进行，这就是说通过一股再生热气流，有一定的热量带给分子筛床层，这种热量紧接着有一股再生冷气流通过床层进行冷吹(图3)。在这种再生形式中约有25%周期用于加热，其余用来冷却和切换。在小型和中型设备中，再生气体大多在一台电加热装置中加热，它只用25%周期就被切换，与连续耗电量相比，须设有四倍这样功率的加热器，这意味着用电费用较高。而且由于频繁地开关电加热器，使其热载荷较高。由于吸附器周期较短，因此可采用蓄热器。它在冷却阶段由现存的电加热器蓄热，并在加热阶段将贮存的热量重新放给电加热器。这样，用一只只有25%时间所需的热功率的电加热器就可以了，可使必须的供电费用明显降低。

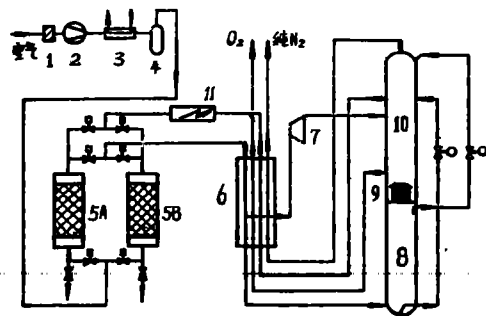


图2 串联分子筛吸附器的空分设备流程
1. 过滤器 2. 空气压缩机 3. 冷却器 4. 分离器
5A、5B 分子筛吸附器 6. 换热器 7. 透平膨胀机
8. 下塔 9. 冷凝器 10. 上塔 11. 再生气体加热器

采用热脉冲气流再生时，必须对吸附器的边缘区特别重视。如果吸附器中分子筛填料和容器外壳间有直接接触，规定用标准的外绝热。在再生中由于热量流入容器外壳，边缘区域与其它床层相比，较为不利(耗热)。为了避免这一点，吸附器都装有所谓的内绝热层(图4)。它外部有一层玻璃棉绝热层，外容器和内容器之间的间隙在空气进口侧是敞开的，为此在空间及原来的吸附空间的压力相同。在空气出口内容器与外容器通过一个补偿管使密封严密。

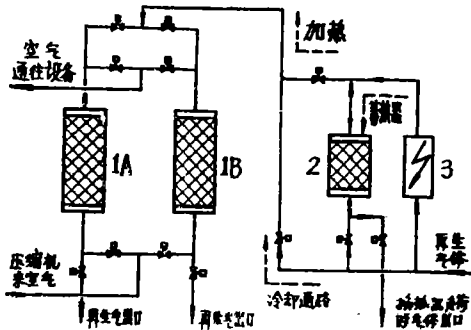


图3 带蓄热器的分子筛再生装置流程

采用热脉冲气流再生时，必须对吸附器的边缘区特别重视。如果吸附器中分子筛填料和容器外壳间有直接接触，规定用标准的外绝热。在再生中由于热量流入容器外壳，边缘区域与其它床层相比，较为不利(耗热)。为了避免这一点，吸附器都装有所谓的内绝热层(图4)。它外部有一层玻璃棉绝热层，外容器和内容器之间的间隙在空气进口侧是敞开的，为此在空间及原来的吸附空间的压力相同。在空气出口内容器与外容器通过一个补偿管使密封严密。

进一步研制中型和大型设备，又产生一种新的吸附器结构，这种结构用在许多设备中，其中有分离空气量为200000Nm³/h以上的设备，都证明性能良好。以上的结构也有专利权(图5)。采用这种结构可以使内腔和外腔之间无漏气情况，同时通过压力容器的边缘耗热量只起次要作用。

过去林德公司也制造过用径向气流干燥空气的吸附器，这就是说：须干燥的空气由外向里流过装在立式容器内的圆柱型床层，再生气体由里向外流(图6)。这种吸附器的工作时间为8小时或8小时以

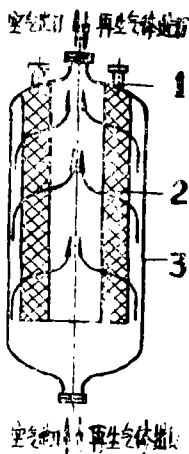


图6 带径向气流的空气干燥器

- 1. 进料管 2. 硅胶填料
- 3. 压力容器

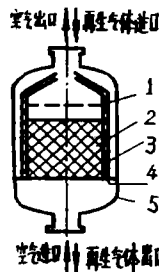


图4 带内绝热层的分子筛吸附器

- 1. 过滤器 2. 分子筛填料
- 3. 带绝热层的薄壁内容器
- 4. 支承栅格 5. 压力外壳

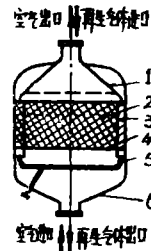


图5 带内筒空间的分子筛吸附器

- 1. 带过滤筛的热挡板 2. 分子筛填料
- 3. 内筒 4. 支承栅格
- 5. 内筒空间的水力充填管道 6. 压力外壳

上，而且不用热脉冲(热源)再生，而用相当多的能量使吸附器的填料加热至进口和出口温度几乎相等，然后再用冷再生气体重新冷却吸附器。这种设备的再生能耗比所必需的多得多，这与下面所介绍的情况有关。

吸附器，特别是用于同时清除水份和二氧化碳的、并与吸附相反方向再生的吸附器，当热再生气体进入吸附器时，首先将它的热量交给再生气体进口的填料，冷却后再从再生气体出口流出，在一定时间以后，填料受热浪侵入把吸附的水解吸，被再生气体吸收，遇到后面冷的填料区，冷的填料也由解吸而继续冷却，使再生气体冷到饱和温度，并形成水滴，水滴通过重力向下流动。对于立式径向流动的吸附器，意味着经几个周期再生工作后在下部将积起越来越多的水份，这样则必须将再生能量增加并调整到下部区域上进行再生，否则吸附器干燥不充分。这种现象只有当工作一定时间后，才会使人最后觉察到。为了抵消前面提到的消极影响，至少吸附水份区域的床层不能垂直排列。

总 结

采用分子筛在常温下全面地净化空气，对空分设备的经济性及安全性有决定影响，使装置低温部分结构简单，并避免了设置交变应力设备，如蓄冷器、板翅式换热器。与吸附器串联的设备部分也不再存在腐蚀问题，这对于今后制造的空分设备，大都倾向于采用分子筛吸附器来净化空气的论点，是十分有利的。

译自Linde Berichte aus Technik und Wissenschaft 57/1985

杭州制氧机研究所 孟剑英译 杭氧厂 陈逸楠校

欢迎订阅(今年改内部发行，尚可补订全年)，欢迎来稿，
欢迎反馈刊出文章的信息。