

带膨胀机中压循环空分设备的节能

杭州制氧机厂质量管理科 叶必楠

【内容摘要】 本文从单机入手,介绍了小型制氧机各个方面的节能措施,如提高空压机和膨胀机的效率、空气滤清器的维护、净化设备的更新、空分塔的节能以及开展综合利用等。最后作者指出了我国小型制氧机能源浪费的严重情况,提议统筹规划、定点供气。

国产的小型空分设备最典型的流程是带膨胀机的中压循环,50、150米³/小时空分设备都属于这类流程。我国从1957年至今已生产了近2000套这类设备,如果这些设备的开工率以70%计,每套设备每小时平均能节约1度电的话,那么每年可为国家节约用电1226万度,这是一笔很可观的数字。那末,小型空分设备如何开展节能工作呢?我认为应该从加强设备的维护保养、推广先进的操作方法、改造老设备和综合利用等方面着手,从每个单机的一点一滴的节能工作做起。

一、空气滤清器的维护

空气通过滤清器时,其中的灰尘和机械杂质粘附在丝网或拉西哥环的油膜上。随着粘附物的增多,吸入阻力增大,空压机吸入量减少,这样的能耗增加往往不易引人注意。因此,每隔1至3个周期(每个周期为两个月。下同),要把滤清器的丝网或拉西哥环清洗一次,然后加上新的过滤油。过滤油一般夏天可用压缩机汽缸油,冬天可用曲轴箱油或锭子油代用。

二、空气压缩机的节能

活塞式空压机由电动机带动,通过传动机构,改变活塞在汽缸中的位置,空气在汽缸内受压缩,体积缩小,压力升高,温度升高。气体压缩后产生的热量由冷却水带走,从而使气体的焓值下降,具备了制冷、精馏所需要的压力。空压机是空分设备耗电最大的单机,提高空压机的等温效率和机械效率可以得到较大的节能收益。

提高空压机等温效率的措施有:

1.冷却器要有足够的换热面积。如果冷却效果差,应适当增大换热面积或更换新型结构的冷却器,如叠片式。

2.增加冷却水量,提高进水压力或降低排水压力。水质条件差的地方应增加水的净化设备。但节约用水本身也是节能的一种型式,对于采用冷却水池的压缩机,可以把汽缸的冷却水再引到水池底部,这样水池本身的水量可以减少。

3.及时去除结垢和结炭。每隔半年检查一次冷却器和汽缸套结垢以及气体通路的积炭情况,并用机械法和化学法去除。

4.利用干氮降低冷却水温度。对冷却水采用循环且氮气不加以利用的用户,可以利用干燥氮气的吸湿能力,把放空的氮气引向水冷却塔的水池鼓泡后放空,使水温降低。

提高机械效率的措施有:

1.“有害余隙”(活塞与汽缸顶部最小距离)要适当。在工作状态不使活塞发生撞击的

前提下愈小愈好。一般说明书中有规定,也可按经验公式 $\delta = \left(\frac{S}{500}\right) + 0.5$ 进行调整(S为活塞行程,毫米)。

2. 进排气阀门要密封。进气阀门不密封时:压缩气体返回吸入管,压缩后压力降低,进气温度升高。排气阀门不密封时:压缩后的气体返回气缸,吸入气量减少,排出压力降低而排气温度升高。进排气阀门的泄漏都会引起空气量的减少,单位能耗增加,为此,每个周期应拆开阀门进行密封性检查。

进、排气阀门本身的阻力和安装技术对排气量的关系很密切。如用户自制零件的弹簧过硬,升高限制器的开启度过小,安装时阀门垫片漏气等都会造成能耗增加。

3. 消除泄漏。机器外部的泄漏比较直观也易处理,而机器内部的泄漏主要依靠正确的维护保养来保证。如汽缸、活塞环的磨损,密封填料函或冷却器的漏。为此,要建立机器履历卡,定期地作检查和修理。

4. 减少机器运动机构的摩擦阻力。运动机构包括传动和压气部份,摩擦阻力与机件表面光洁度和润滑油的粘度、油量有关。若油的粘度过大,则不易渗入摩擦表面,或因油膜过厚传热性能差而使运动阻力增大,功耗增大;若油的粘度过小,会使摩擦阻力增加;若油量过少,会使摩擦表面得不到良好润滑,致使磨损增加,甚至使机件损坏;若油量过多也不利,特别是汽缸中的润滑油在高温下分解成轻馏份对空分塔的安全不利。润滑油形成的积炭会卡死活塞环、气阀,堵塞气流通道,甚至引起管道燃烧爆炸事故。因此,在选用润滑油时必须注意油质,并注意控制油量。

润滑油在使用前要用每平方公分500孔的金属网过滤。对曲轴箱用油要根据机械磨损情况及时更换清洗,一般每隔2000~3000小时更新一次。换新油时也应先过滤,提高清洁度,减少磨损。

对空分设备配套的空压机,发展趋势是采用无油润滑压缩机。最近杭州制氧机厂试制了一种2D8—17/45型无油润滑压缩机,加工气量为1020米³/小时,终压45公斤/厘米²,可配150米³/小时空分设备。无油润滑空压机,对延长分子筛使用寿命、提高净化效果、延长成套设备安全运转周期能起主要作用。

三、空气净化设备的更新

空分设备运转周期的长短,关键在于净化设备对原料空气的净化程度。七十年代更新了空气净化设备,采用分子筛纯化器替代碱洗塔和干燥器,使流程简化、操作方便、占地少、净化效果高、运转周期长、并且安全可靠,彻底消除了碱蚀和跑碱事故。从经济上看,投资费用和运转费用都有所降低。因此,从长远的利益出发,把老式的碱洗—干燥设备改为分子筛纯化器也是一项节能措施。最近几年,有不少用户采用硅胶—分子筛双层床净化空气,取得了加温时间短、再生温度低、耗电省、运行周期长等效益。

关于分子筛纯化器的节能措施有:

1. 原料空气要无油干燥。尽可能减少进入纯化器前空气中的水份和油气,要及时正确地吹除各级油水分离器。

2. 降低进入纯化前的空气温度。吸附温度低,可提高分子筛的吸附能力,并可以减少分子筛量。因此,在纯化器之前增加氟利昂制冷机预冷空气,虽然流程复杂了,但可使能耗降低,对高温地区更为合算。

3. 分子筛纯化器的再生要彻底。氮气加热进口温度控制在280~320℃,出口温度达到

110℃停电炉。吹冷时，氮气走旁通管道进入吸附筒，可加速分子筛的降温，缩短再生时间。并且要有足够的氮气量。设备长期停车时要充干氮并密封之。

4. 严格控制使用周期，纯化器使用周期过长会使空分运转周期缩短。因此，要根据空气温度、压力、纯化后杂质含量进行测定，并作出切换的曲线。为了减少切换过程对分馏塔稳定的影响，两只吸附筒之间可增加一只平衡阀（可用分析阀）。

5. 降低阀门管道阻力。用户自己改造的分子筛纯化器，由于加温阀门口径过小、管道过细，造成分馏塔操作压力升高，引起电耗增加。因此，选配阀门、管道时要有利于上塔压力的降低。

6. 消除纯化器加热阀密封函的漏气。原密封填料为石墨石棉绳，不可避免的要漏气，现改为膨胀石墨（也叫柔性石墨），解决了漏气的问题。

四、提高活塞式膨胀机的效率

增加膨胀机制冷量，可以降低高压压力，降低能耗。膨胀机产冷量与效率直接有关。提高膨胀机效率的措施有：

1. 进、排气阀门要密封。如果不密封，高压空气部分以节流的形式进入排气管，这部份气体就不作外功，产冷量减少。会使中压压力升高。因此，每个周期要检查一次进、排气阀门的密封性。

2. 严格控制气缸“有害余隙”。留有过大的“有害余隙”，则使这部分空气在排气阀门关闭后被压缩，产生热量，引起冷损和不完全膨胀造成的冷损增加，使效率降低。“有害余隙”一般控制在0.6~1毫米。

2. 避免高压空气节流。进气容积与气缸全容积之比称“充气度”，充气度由膨胀凸轮来调节。充气度越大膨胀量越大，产冷量也越多。在操作中应尽量避免用机前节流的办法来调节充气度。

4. 启动时采取提高高压力和降低中压压力来增加机前、机后的压差。正常运转时希望高压压力越低，则越能节省能耗；在高压压力一定时，可努力降低中、低压压力，以利扩大机前机后的压差，使产冷量增多，反过来又可使高压压力进一步降低。

5. 减少膨胀机摩擦热。膨胀机工作时，汽缸与活塞、活塞杆与密封函、阀门杆与填料之间的摩擦，都会产生摩擦热。这些部位过松会引起漏气而产生冷损，过紧则摩擦热增加，使膨胀机绝热效率降低。因此，在安装和修理时，应十分注意这些部位的松紧度。对活塞杆与密封函、阀门杆与填料在换上新的密封填料时，以人力能推动即可，运转初期松一点，待到漏气时再稍稍扳紧，以不漏为好。对活塞杆与汽缸之间，最重要的是保持同心度和活塞环搭口的间隙，并定期地检查活塞环和定位环的磨损情况。用油润滑的活塞式膨胀机，要注意油质和油量。

提高活塞式膨胀机绝热效率的根本措施是改革结构。杭州制氧机厂在1972年把150米³/时空分设备配套的1LP-16.6/50-6型膨胀机改为PZK-14.3/40-6型后，绝热效率提高10%左右，高压压力降低约4公斤/厘米²。根据功耗公式计算，每降低1公斤/厘米²，电耗约可减少2度，若开工率以70%计，每年可以节电近5万度。购一台PZK-14.3/40-6型膨胀机仅需1万元左右，这对六十年代以前的设备或长期运行的用户来说，更新设备是合算的。近年，江西制氧机厂、吴县制氧机厂和西安交通大学联合研制了气体轴承中压透平膨胀机，实测效率达到74%，150米³/小时空分设备改配PLK-8.33×2/20-6型气体轴承中压透平膨胀机后，每年可节约13万度，并免除了易损备件和润滑油的消耗。

五、空分塔的节能措施

1. 分馏塔加温吹除要彻底。分馏塔加温吹除时不出产品, 这段时间越短越有利节能。但是由于加温吹除不彻底, 启动后不能正常工作, 就要被迫停车重新加温。加温是否彻底应以排出气体的干燥度为标准, 有经验的操作工以湿手的感觉来判断, 较科学的方法是用露点仪来测定, 当吹除阀排出的气体露点达到 -5°C 以下即可。

加温后吹除的目的在于清除塔内管道的机械杂质, 并可把塔内加温后的热量带走, 使启动时间缩短。因此, 吹除时间不要太短, 一般维持半小时左右。

2. 掌握启动操作要领, 缩短启动时间。小型空分设备启动是指膨胀机开动到产品送出的过程, 希望启动时间越短越好。在设备完好的前提下, 启动时间长短的关键在于操作工的技巧。其操作要领如下:

(1) 从膨胀机开动到膨胀机出口温度达 -140°C 以前的降温期间: 一切操作都以使膨胀机多产冷为目的。因此, 尽可能保持空压机和设备允许的最高压力, 把中、低压降到最低限度。并把所有空气送入膨胀机。

(2) 膨胀机后温度达 -140°C 后至液氧液面升到规定的积液期间: 主要是使塔内的温度冷却到工作温度, 并使液体尽快的积累起来。这不仅要继续尽量多生产冷量, 而且要求生产低温冷量, 生产出来的冷量要合理使用, 不要浪费掉。因此, 要严格控制好三点温度, 调节好节一1阀和凸轮的开度, 防止换热器热端温差的扩大。

(3) 液氧液面升到规定值至正常工作的调整期间, 要把分馏塔的工况尽快走向正常生产。因此, 这段时间的重点是保持液氧液面的稳定, 每个动作都要有预见性; 把下塔纯度的调整和降低高压压力结合起来, 及时分析各项纯度, 并把各项指标调整到最佳工况。

3. 减少空分塔的冷损。减少冷损是降低能耗的有效措施。

(1) 由于热交换不完全所造成的冷损, 主要决定于换热器的热端温差, 热端温差扩大 1°C , 冷损要增加 0.31 千卡/标米³加工空气。因此在操作中应努力调节好高压空气进热交换器各隔层的气量比例; 控制好节一1阀和凸轮的气体分配量; 把高压压力降到可能的最低限度。当热交换器被水冻结或沾上油时会使传热效率降低, 热端温度扩大, 此时应停车加温或清洗。

(2) 跑冷损失主要是指周围环境温度传给塔内低温容器及管道的热量而引起的冷损。小型空分设备的跑冷损失一般约占总冷损的55%左右。跑冷损失的大小决定于绝热材料的性能、充填的厚度和密度, 以及支架阀门的隔热措施。减少跑冷损失的措施是选择导热系数小的绝热材料, 一般采用珠光砂。珠光砂要干燥, 含水率要小于5%, 充填时要结实, 不留死角, 并及时补充顶部下沉的珠光砂。筒壳要尽可能密封, 以防止绝热材料受潮。若受潮了要及时加温烘干处理。大修时最好把阀门、容器上的木质垫换成珠光砂石棉垫。要及时补充冷阀的密封填料, 且松紧度合适, 以减少阀门的冷量泄漏。

(3) 其它冷损包括提取部分液体产品和吸附器的再生, 塔内的泄漏等。减少其它冷损的主要措施是操作上要慎重不要超压, 设备检修时试压要严格。

4. 提高氧气的提取率。氧气提取率是确定空分塔精馏效果的依据, 它是产品氧中的含氧量与加工空气中的含氧量之比, 即

氧提取率 = (氧产量 × 氧纯度) ÷ (加工空气量 × 20.9)。氧提取率越高单位能耗就越小。平均氮纯度提高1%, 电耗将下降3~5%。提高提取率的办法是:

(1) 根据不同工况合理地调节下塔和上塔各级的回流比, 减少馏份中和氮气中的含氧

量。如单制氧气的用户可以采取少抽或不抽馏份，同时适当地提高液空的纯度和降低液氮的纯度，以利提高氧产量。

(2) 降低精馏塔的压力有利于氧、氮的分离。在确保分子筛纯化器再生的前提下尽可能把上塔压力降低。

(3) 制造和安装时尽可能使塔板保持水平。

(4) 加工空气量要合适，过多则会引起液悬，过少则会产生漏液。

(5) 改造老设备，适当地增加塔板数。

5. 用户根据供电和氧气需要量，采用间断制氧是节能的好办法。为了使下次开车能很快的送出合格的产品氧气，因此要求塔内保持足够的冷量，冷凝蒸发器中保持一定纯度的液氧液面。操作必须掌握以下要点：

(1) 设备停车前提高高压压力和氧气纯度，使冷凝蒸发器内有一定纯度的液氧贮存量。

(2) 注意停车步骤和冷量的保存。间断停车的操作步序，对冷量的贮存关系密切，当液氧液面达正常液面最高值时先关液空、液氮节流阀，再停膨胀机。此时可适当开大节—1 阀，当下塔压力达 5.5~5.8 公斤/厘米²时关闭节—2 阀，使下塔有足够的冷量。当高压压力升到 35~40 公斤/厘米²时关闭高压空气进口阀。最后打开吹除阀放空，空压机停车。

(3) 停车后的维护：当低压压力低于工作压力时关闭氧气出口阀、馏份出口阀，并用氮气出口阀控制上塔压力在 0.5 公斤/厘米²左右。

(4) 停车后的复车：当空压机出口压力达 20 公斤/厘米²时打开节—1 阀，回收热交换器的冷量，接着启动膨胀机。根据液氧液面决定高压压力和液空、液氮节流阀的开度。根据三点温度的情况决定节—1 阀和凸轮的气量比例。

间断制氧要防止乙炔和碳氢化合物在液氧中积聚，其方法是及时切换分子筛纯化器和再生乙炔吸附器；操作中不使液氧液面下降过快，并不得低于规定值的下限；停车时不要使冷凝蒸发器的液氧满出氧气出口管。

氧压机的节能措施与空压机相似，不再重述。

六、开展综合利用

小型空分设备同时能制取氧气、氮气，有的能带上氩塔制取精氩，若这些气体都能加以利用这是最大的节约。如 150 米³/时带上 XKAr-3 型氩塔，每小时可制取 99.99% 的氩气 4 米³。氩气的出售，可抵销成套设备的运转费用。经过适当改装，如增加高氮塔制取高纯氮，增设液氮罐制取液氮，也有利用粗氩塔或增加小塔制高纯氧等等，以满足市场需要，同时也达到了一机多用。

七、结束语

空分设备开展节能是制氧行业的当务之急，是大家共同关切的问题。但是，必须指出当前我国空分设备的布局很不合理，企业大而全、小而全情况很严重，一个地区有很多台制氧机，大家都开车而大家又都不能长期运转，普遍存在开车率低、氧气产量供大于销（需）、搞间断制氧、有效生产时间很少、不能开展综合利用、能源浪费极为严重等情况。因此，呼吁各级行政领导，组织专业队伍通过调查，统一规划，择优定点供气。对于电耗大、成本高、管理乱的制氧站要下决心实行停、关、转。这方面，北京市做得较好，成立了“北京市制氧工业调整规划组”，并且已由北京市氧气厂向有关部门统一供气。

上述看法有不妥之处，请大家批评指正。

(1980年11月初稿 1982年6月改稿)