

变压吸附技术

一、概况：

变压吸附（简称 PSA）是一种新型的气体吸附分离技术，它有如下优点：（1）产品纯度高。（2）一般可在室温和不高的压力下工作，床层再生时不用加热，节能经济。（3）设备简单，操作、维护简单。（4）连续循环操作，可完全达到自动化。因此，当这种新技术问世后，就受到各国工业界的关注，竞相开发和研究，发展迅速，并日益成熟。

1960 年 Skarstrom 提出 PSA 专利，他以 5A 沸石分子筛作为吸附剂，用一个两床 PSA 装置，从空气中分离出富氧，该过程经过改进，于 60 年代投入了工业生产。70 年代，变压吸附技术的工业应用取得突破性的进展，主要应用在氧氮分离、空气干燥与净化以及氢气净化等。其中，氧氮分离的技术进展是把新型的吸附碳分子筛与变压吸附结合起来，将空气中的 O₂ 和 N₂ 加以分离，从而获得氮气。随着分子筛性能改进和质量提高，以及变压吸附工艺的不断改进，使产品纯度和回收率不断提高，这又促使变压吸附在经济上立足和工业化的实现。

二、基本原理：

利用吸附剂对气体的吸附有选择性，即不同的气体（吸附质）在吸附剂上的吸附量有差异和一种特定的气体在吸附剂上的吸附量随压力的变化而变化的特性，实现气体混合物的分离和吸附剂的再生。变压吸附脱碳技术就是根据变压吸附的原理，在吸附剂选择吸附的条件下，加压吸附原料气中的 CO₂ 等杂质组分，而氢气、氮气、甲烷等不易吸附的组分则通过吸附床层由吸附器顶部排出，从而实现气体混合物的分离，而通过降低吸附床的压力是被吸附的 CO₂ 等组分脱附解吸，使吸附剂得到再生。

吸附器内的吸附剂对不同的组分的吸附是定量的，当吸附剂对有效组分的吸附达到一定量后，有效组分在哪个吸附剂上能有效的解吸，使吸附剂能重复使用时，吸附分离工艺才有实用的意义。故每个吸附器在实际过程中必须经过吸附和再生阶段。对每个吸附器而言，吸附过程是间歇的，必须采用多个吸附器循环操作，才能连续制取产品气。

多床变压吸附的意义在于：保证在任何时刻都有相同数量的吸附床处于吸附状态，使产品能连续稳定地输出；保证适当的均压次数，使产品有较高的回收率。

任何一种吸附对于同一种吸附气体（吸附质）来说，就吸附平衡情况下，温度越低，压力越高，吸附量越大。反之，温度越高，压力越低，则吸附量越小。因此，气体的吸附分离方法，通常采用变温吸附和变压吸附两种循环过程。

如果压力不变，在常温或低温的情况下吸附，用高温解吸的方法，称为变温吸附（简称 TSA）。显然，变温吸附是通过改变温度来进行吸附和解吸的。变温吸附操作是在低温（常温）吸附等温线和高温吸附等温线之间的垂线进行，由于吸附剂的比热容较大，热导率（导热系数）较小，升温 and 降温都需要较长的时间，操作比较麻烦，因此变温吸附主要用于含吸附质较少的气体净化方面。

如果温度不变，在加压的情况下吸附，用减压（抽真空）或称常压解吸的方法，称为变压吸附。可见，变压吸附是通过改变压力来吸附和解吸的。变压吸附操作由于吸附剂的热导率较小，吸附热和解吸热所引起的吸附剂床层温度变化不大，故可将其看成等温过程，它的工况近似地沿着常温吸附等温线进行，在较高压力（ P_2 ）下吸附，在较低压力（ P_1 ）下解吸。变压吸附既然沿着吸附等温线进行，从静态吸附平衡来看，吸附等温线的斜率对它的影响是很大的。在温度不变的情况下，压力和吸附量之间的关系可这样描述： P_H 表示吸附压力， P_L 表示解吸压力， P_H 与 P_L 的吸附量的差就是有效吸附量。

吸附常常是在压力环境下进行的，变压吸附提出了加压和减压相结合的方法，它通常是由加压吸附、减压再生组成的吸附——解吸系统。在等温的情况下，利用加压吸附和减压解吸组合成吸附操作循环过程。吸附剂对吸附质的吸附量随着压力的升高而增加，并随着压力的降低而减少，同时在减压过程中，放出被吸附的气体，使吸附剂再生，外界不需要供给热量便可进行吸附的再生。因此，变压吸附又称等温吸附，无热再生吸附。

三、基本步骤：

单一的固定吸附床操作，无论是变温吸附还是变压吸附，由于吸附剂需要再生，吸附是间歇式的。因此，工业上都是采用两个或者更多的吸附床，使吸附床的吸附和再生交替（或者循环）进行，保证整个吸附过程的连续。

变压吸附循环过程有三个基本工作步骤：

- a. 压力下吸附：吸附床在过程的最高压力下通入被分离的气体混合物，其中强吸附组分被吸附剂选择性吸收，弱吸附组分从吸附床的另一端

流出。

- b. 减压解吸：根据被吸附组分的性能，选用前述的降压、抽真空、冲洗和置换中的几种方法使吸附剂获得再生。一般减压解吸，先是降压到大气压力，然后再用冲洗、抽真空或置换。
- c. 升压：吸附剂再生完成后，用弱吸附组分对吸附床进行充压，直到吸附压力为止。接着又在压力下进行吸附。

四、再生常用方法：

变压吸附在加压下进行吸附，减压下进行解吸。由于循环周期短，吸附热来不及散失，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，波动范围仅在几度，可近似看作等温过程。常用减压吸附方法有以下几种：

- a. 降压：吸附床在较高压力下吸附，然后降到较低压力，通常接近大气压，这时一部分吸附组分解吸出来。这个方法操作简单，单吸附组分的解吸不充分，吸附剂再生程度不高。
- b. 抽真空：吸附床降到大气压以后，为了进一步减少吸附组分的分压，可用抽真空的方法来降低吸附床压力，以得到更好的再生效果，但此法增加了动力消耗。
- c. 冲洗：利用弱吸附组分或者其他适当的气体通过需要再生的吸附床，被吸附组分的分压随冲洗气通过而下降。吸附剂的再生程度取决于冲洗气的用量和纯度。
- d. 置换：用一种吸附能力较强的气体把原先被吸附的组分从吸附剂上置换出来。这种方法常用于产品组分吸附能力较强而杂质组分较弱即从吸附相获得产品的场合。

变压吸附过程中，采用哪种再生方法是根据被分离的气体混合组分性质、产品要求、吸附剂的特性以及操作条件来选择，通常是由几种再生方法配合实施的。应当注意的是，无论采用何种方法再生，再生结束后，吸附床吸附质的残余量不会等于零，也就是说，床内吸附剂不可能彻底再生。这部分残余量也不是均匀分布在吸附床内各个部位。

五、吸附剂的选择：

吸附剂的良好吸附性能是吸附分离过程的基本条件，在变压吸附过程中吸附

剂的选择还要考虑解决吸附和解吸之间的矛盾。例如对于苯、甲苯等强吸附质就要用对其吸附能力较弱的吸附剂如硅胶，以使吸附容量适当，又有利于解吸操作。而对于若吸附质如甲烷、氮、一氧化碳等，就需要选用吸附能力较强的吸附剂如分子筛，以期吸附容量大些。选择吸附剂的另一要点是组分间的分离系数尽可能大。（某组分吸附平衡时在吸附床内的总量有两部分，一部分是在死空间中，另一部分被吸附剂所吸附，其总和叫做某组分在吸附床内的存留量：弱吸附组分和强吸附组分各自在死空间中含有的量与床内存留量的比值之比称为分离系数。）分离系数越大分离越容易。在变压吸附中被分离的两种的分离系数不宜小于2。

在吸附床运行过程中因床内压力周期变化，气体短时间内进入、排出，吸附剂应有足够的强度，以减少破碎和磨损。被分离的气体如果含有象机械润滑油、煤焦油之类的物质，那么在吸附过程中，这些油性物质会粘附在吸附颗粒的表面，堵塞吸附剂内的通道，使吸附剂失去吸附能力。粘附有油类物质的任何吸附剂，不管采用升温还是降压抽空的再生方法，都是不能再生的。因此对气体中的含油量必须严格控制，有的场合就需要增设除油设施，以免吸附剂在使用中失效。

变压吸附分离气体混合物所采用的常用吸附剂

分离对象	硅胶	活性炭	分子筛
从气体混合物中除去水分	√		√
空气净化		√	√
空气分离制取氧和氮			√
从氢气中除去二氧化碳	√	√	
从氢气中除甲烷、一氧化碳、氨			√
从氢气中除去烃类	√		
合成气净化		√	√
从甲烷中除去其它烃类		√	√
从瓦斯中回收甲烷		√	√
从石灰窑气中分离二氧化碳	√	√	
从炼钢转炉煤气中分离一氧化碳	√	√	√

天然气净化		√	√
-------	--	---	---

分离组分复杂、类别较多的气体混合物，常需要选用几种吸附剂，这些吸附剂可按吸附分离性能依次分层装填在同一吸附床内，有的情况也可分别装填在几个吸附床内。

六、氮氧分离技术：

来自空气压缩机的压缩空气，首先进入冷干机脱除水分，然后进入由两台吸附塔组成的 PSA 制氮装置，利用塔中装填的专用碳分子筛吸附选择性地吸附掉 O₂、CO₂ 等杂质气体组分，而作为产品气 N₂ 将以 99% 的纯度由塔顶排出。在降压时，吸附剂吸附的氧气解吸出来，通过塔底逆放排出，经吹洗后，吸附剂得以再生。完成再生后的吸附剂均压升压和产品升压后又可转入吸附。两塔交替使用，达到连续分离空气制氮的目的。用碳分子筛制氮主要是基于氧和氮在碳分子筛中的扩散速率不同，在 0.7-1.0Mpa 压力下，即氧在碳分子筛表面的扩散速度大于氮的扩散速度，是碳分子筛优先吸附氧，而氮大部分富集于不吸附相中。碳分子筛本身具有加压时对氧吸附容量增加，减压时对氧的吸附量减少的特性。利用这种特性采用变压吸附进行氧、氮分离。从而得到 99.99% 的氮气。

变压吸附空气制氧始创于 20 世纪 60 年代初，并于 70 年代实现工业生产。在此之前。传统的工业空分装置大部分采用深冷精馏法（简称深冷法）。80 年代以来至今 Cax 和 Lix 等高吸附分离性能的分析筛的相继开发利用和工艺流程的改进，使得变压吸附空分技术得到迅速地发展，与深冷空分装置相比，PSA 过程具有启动时间短和开停车方便、能耗较小和运行成本低、自动化程度高和维护简单、占地面积小和土建费用低等特点。在不需要高纯氧的中小规模（小于 100 吨/天，相当于 3000Nm³/h）氧气生产中比深冷法更具有竞争优势。广泛的应用于电炉炼钢、有色金属冶炼、玻璃加工、甲醇生产、碳黑生产、化肥造气、化学氧化过程、纸浆漂白、污水处理、生物发酵、水产养殖、医疗和军事等诸多领域。四十多年来变压吸附空分制氧技术的研究进展主要表现在两个方面：一是空分制氧吸附剂和其吸附理论的研究方面，二是空分制氧工艺循环过程的研究方面。国内对这项技术的研究尽管起步较早，然而在较长的一段时间内发展相对较缓。直至进入九十年代以来，变压吸附制氧设备的优越性才逐渐被国人认可，近几年各种流程的设备相继投产为各行各业带来了巨大的经济效益。

七、氢气提纯装置的应用：

变压吸附气体分离与提纯技术成为大型化工工业的一种生产工艺和独立的单元操作过程，是上世纪 60 年代发展起来的。变压吸附制氢工艺中吸收压力一般在 0.8-2.5Mpa 范围内，早期变压吸附技术应用的一个重要限制，在于缺乏一种有效的方法来回收和利用吸附结束时存留在吸附床内死空间的产品组分。在最初的二床流程中，一个吸附床吸附，另一床再生，每隔一定时间互相交替。吸附结束后床内死空间气体随降压而损失了，吸附压力越高损失就越大。为了提高回收率，除了研制性能优良的吸附剂和改善操作条件以外，关键还在于改善工艺流程。

目前工业上解决的办法是采用多床变压吸附工艺，它的主要实施方案是，根据吸附的状态特性将吸附操作在穿透点之前一段相当长的时间结束。这样吸附床出口端就有一部分吸附剂尚未利用，然后将该吸附床与一个已完成解吸并等待升压的吸附床联通，两床压力均衡，这样即回收了吸附床死空间中的有用组分又利用其中的能量。一般来说，均压次数增加，产品回收率上升，氮吸附床数也要增加。多床变压吸附工艺应用最广的是四床流程。为了便于了解起见，现以其中一个吸附床（A 床）所经历的七个步骤为例来说明它的工作原理。

1、吸附

原料气自下而上通过 A 床，在过程最高压力下选择吸附各种杂质，未被吸附的纯氢从吸附床顶部引出，其中大部分作为产品输出，另一部分用于别的吸附床的最终升压。吸附步骤是在吸附前沿未到达床的出口端时即停止，使吸附前沿和床出口端之间保留一段好没有使用的吸附剂。

2、均压降

吸附步骤完成后，A 床停止进入原料气。与已再生完成处于过程最低压力的 C 床以出口端相连进行均压。均压完成后两床压力各为吸附压力的二分之一，此时 A 床的吸附前沿向前推进，但还未到达床的出口端。均压降的气体纯度和产品基本一致。此步骤对 C 床来说叫做均压升，回收了吸附床死空间中大部分产品和它的能量。

3、顺向放压

A 床继续从出口端降压，降压的气体用于冲洗已逆向放压到过程最低压力的

D床。顺向放压结束时的压力控制在吸附前沿刚好到达出口端而还未穿透为止。此步骤的顺向放压气体基本上是纯的，利用这股气体使D床吸附剂进一步再生。

4、逆向放压

顺向放压终止时A床内吸附剂已全部吸附杂质，于是将床内剩余气体从入口端排出，降到过程最低压力（一般为大气压）。在此步骤中床内吸附的杂质由于压力下降而释放，大部分随气流带走。

5、冲洗

利用B床顺向放压的气体在过程最低压力下对A床进行冲洗以进一步降低杂质分压，消除残留于床内的杂质。

6、均压升

冲洗完成后A床的吸附剂基本再生完毕，此时开始进行再次吸附前的升压准备，在此利用C床均压降的产品对A床进行充压，达到吸附压力的一半。

7、最终升压

然后用D床生产中的一部分把A床充压到过程的最高压力，及吸附压力。至此，A床完成了一个吸附——再生循环，并将重新开始吸附进入下一个循环。

其他三床的工作步骤与A床相同，只是时序安排错开四分之一周期。此流程通过均压和顺向放压两个步骤回收了吸附床死空间中的大部分产品组分和它的能量，提高了产品回收率，同时用于充压的产品气量减少，产品气的压力波动也相应减少。在升压过程中，纯氢都是从吸附床出口端充入，这样床内极少量的杂质会被推向入口端，起到了床内吸附剂更新的作用。此法从变换气中制取纯氢，产品纯度可达99.99-99.999%，氢的回收率75-80%。为了进一步减少产品的损失，还可采用二次均压法，使逆向放压时的压力更低，均压升之后的压力更高，其回收率比一次均压法提高5-7%。

除了四床流程外，工业上根据装置增大和吸附压力上升还相应采用的有五床、八床和十床流程等等。多床变压吸附流程只要改变床内吸附剂类型和配比，都可适用于从几乎所有的富氢气源（如变换气、合成氨弛放气、甲醇尾气、焦炉煤气、炼厂气、城市煤气等）中回收氢，也能适用于其它从气体相获得产品组分的场合，例如从天然气中除去C₂以上的烃类、从变换气中脱去二氧化碳等等。

（一）在石化尾气回收氢的应用：

根据石化公司原油一次加工能力 10.5Mt/a，催化加工能力 5.7Mt/a，为了充分利用干气资源，建设了 0.1Mt/a 催化干气制乙苯/苯乙烯联合装置。经联合装置排出的烃化尾气和脱氢尾气含有非常可观的氢气，如果将其作为燃料烧掉，每年要烧掉纯氢约 3500 吨，十分可惜。如果将烃化尾气和脱氢尾气中的氢气提纯出来，用于满足当时在建的加氢精制装置的需要，既能充分利用资源，又可避免采用轻油或炼厂气蒸汽转化法制氢所具有的投资高、能耗大的缺点。1999 年 4 月大连石化建成了设计处理能力 20000 Nm³/h 烃化尾气 PSA 氢提纯装置，它以催化裂化干气或烃化尾气、脱氢尾气和加氢尾气为原料。生产合格氢气产品，为国内炼油厂资源的综合利用开拓了一条新途径。

其原理是：利用装在立式压力容器内的辛化硅胶，活性炭、分子筛等固体吸附剂，对混合气体中的各种杂质选择性的吸附。由于混合气体中各组分沸点不同，根据易挥发的不易吸附，不易挥发的易被吸附的性质，将原料气通过吸附床层，氢以外的其余组分作为杂质被吸附剂选择性的吸附，而沸点低、挥发度高的氢气基本上不背吸附，以大于 98%（v）左右的纯度离开吸附床，从而达到与其他杂质分离的目的。

大连石化公司烃化尾气制氢装置原料气品种繁多，正常情况下使用乙苯装置来的烃化尾气、乙苯装置来的脱氢尾气、加氢装置返回的加氢尾气及部分催化干气，在乙苯装置停车时单独使用催化干气；原料气组分复杂，除氢气外，还有一定量的 N₂、O₂、CO、CO₂、CH₄、C₂H₄、C₂H₆ 及 C₅+等烃类组分。吸附压力低，仅有 0.50Mpa 左右。为了保证装置的可靠性和产品的质量及回收率，因此就决定了该装置采用了先进可靠的“前处理+TSA+VPSA+脱氧”工艺流程。原料气首先经前处理除去少量液滴和部分 C₆。再经变温吸附（TSA）除去 C₅+以上组分，最后经变压吸附（VPSA）和脱氧过程，实现氢气与各种杂质的分离。

TSA 系统由 2 个吸附塔（A、B）组成，运行时一塔始终处于吸附状态，而另一塔始终处于再生状态，两塔交替使用，每个塔每次工作要经历吸附、降压、加热抽空、冷却、加压等 5 个循环步序，以保证连续净化原料气，净化后的混合气原料气进入 VPSA 部分。以 A 塔为例说明：原料气经前处理塔后进入 A 吸附塔，在塔内饱和水和 C₅ 以上组分被吸附剂吸附。吸附到一定程度，开始逆向放压，当塔内压力降至 0.02Mpa 时，用 VPSA 部分排出的真空解吸气经加热器加

热到 120-170℃左右后，逆着吸附方向冲洗吸附床层，使其中的杂质得以脱附，所脱附的杂质被真空泵抽入真空解吸气缓冲罐。脱附完毕后，停止加热解吸气，继续逆着方向，直接用常温下的真空解吸气冲洗吸附床层，使之逐渐冷却至常温，该真空解吸气同样被真空泵抽入真空解吸气缓冲罐中，最终它们和 VPSA 部分的真空解吸气一起被尾气压缩机排入低压瓦斯管网。冷却结束后，用经过净化的 B 塔原料气对 A 塔进行充压，使 A 塔压力与原料气压力接近。至此，A 塔完成一次循环，可以进行下一周期吸附过程。

VPSA 变压吸附系统有 6 个塔，采用 6-2-3 方式工作，即始终有 2 个塔处于吸附状态，4 个塔处于再生状态，工艺步序完全相同，只是各步序的运行时间上依次错开 1/2 个吸附时间。若某一塔出现故障时，启动自动切塔与恢复程序，可将其脱出工作线，让剩余的 5 个塔转入 5-2-2 方式工作。经过 TSA 系统处理过的净化气自下而上进入吸附塔床层，一次性除去氢气以外的绝大部分杂质（仅剩少量 N₂、CH₄、O₂），获得纯度大于 98% 的粗氢气，大部分进入产品脱氧部分，只有一小部分作为其他塔的最终充压用气。当吸附塔吸附到一定程度时，就要对吸附剂进行再生。本工艺采用均压降压、逆放、抽真空、均压升压、产品气升压的方法，实现吸附剂的再生。

其工艺流程简述如下：来自乙苯/苯乙烯和加氢装置的各种尾气经冷却器冷却后进入原料气缓冲罐，除去其中的大部分反烃化料液体，再进入前处理塔，吸附掉气体中夹带的少量液滴和部分 C₆，然后进入 TSA 系统，在常温下除去混合原料气中 C₅ 以上的组分。之后进入 VPSA 系统，在 6 个塔循环操作、交替吸附的作用下生产出粗氢气在进入脱氧塔，若氧含量满足工艺要求，可不经脱氧塔直接进氢气压缩机压缩后送出装置。TSA 和 VPSA 再生时用真空泵抽真空，排出的解吸气经尾气压缩机送入低压瓦斯管网。

总评：（1）采用成熟、先进的变压吸附氢气提纯技术，利用炼厂气副产品，生产出纯度高达 99% 的氢气产品，实现了资源的综合利用，即减少了污染，又为企业增加了经济效益。（2）实践证明，烃化尾气变压吸附氢提纯技术在工业上是可行的，她完全可以满足装置处理多种复杂原料气的需要，且吸附压力价较低，无须增设加压设备，降低了装置的投资。（3）该装置操作灵活，自动化程度非常高，无须单独设置操作员，且具有联锁功能，为装置的安全运行打下了良好的基

础。

(二) 在焦炉煤气制氢中的应用：

1、在宝钢的应用（06年文）

宝钢一、二期建设中引进了德国鲁奇公司 3 台压力水电解槽，制氢能力 600m³/h，三期工程中引进德国林德公司的焦炉煤气五塔变压吸附制氢装置，制氢能力 3000 m³/h。氢气主要用于氩精致、冷轧热处理退火炉、化产苯加氢装置和钢管光亮退火炉等。在“十五”项目建设中，宝钢引进了一套德国林德公司的焦炉煤气五塔变压吸附制氢装置，制氢能力 2000 m³/h，主要满足新建冷轧用氢和公司用氢平衡。

焦炉煤气是炼焦过程的副产物，除含大量氢、甲烷外，还有苯族化合物、萘、有机硫、无机硫、氮氧化物、氨、焦油等微量组分。

宝钢焦炉煤气主要成分组成

组分	含量(%)	组分	含量(%)
H ₂	52.3-55.6	CO ₂	2
CH ₄	27.1-30.4	C _N H _M	2.8
CO	7.5	O ₂	0.1
N ₂	4.9	H ₂ O	饱和
杂质	含量均值(mg/m ³)	杂质	含量均值(mg/m ³)
H ₂ S	<200	有机硫	<200
焦油	<50	萘	<200
HCN	<150	NH ₃	<100
(含苯)轻油份	<2000	吸收油雾	<200-300

流程简介：焦炉煤气在进变压吸附之前进行煤气净化，这样便减轻预吸附塔负担，增加了预吸附剂的使用寿命，保证了氢气质量。焦炉煤气二级喷脱盐水螺杆式压缩机（1台，加压到 0.75Mpa），中间冷却系统（2套，互为备用），预吸附塔（2台，1台吸附，1台再生，吸附剂为活性氧化铝），吸附塔（5台，2台吸附，3台处于再生相应步骤，吸附剂为活性氧化铝、活性炭、硅胶和（沸石）分子筛，吸附出口氢气纯度≥99.97%），氧化器（1台，镀钨触媒），干燥器（2台，干燥剂为 4A 分子筛）。（产品纯度≥99.999%，含氧量≤1×10⁻⁶，露点≤-60℃）。

工艺介质和设备状况是变压吸附制氢装置稳定运行的关键因素。例如入口焦炉煤气的氢比例影响到变压吸附的负荷高低；杂质含量如硫化氢、焦油等影响到预吸附剂、吸附剂、脱氧剂的寿命；煤气压缩机工作状况影响到整个系统的正常运行；煤气成分和物理参数的变化，特别是一氧化碳成分和温度变化可能会引起吸附塔吸附步骤的变化；吸附出口的氢气纯度决定了吸附塔的吸附时间，时间决定了系统必须达到高吸附效率。另外入口煤气温度必须保持在系统设计温度下，太高的温度会增加煤气水分含量并且造成吸附性能的下降；太低的温度将引起严重的解析并且出现冷冻结霜现象。

宝钢实际运行常存在的两种运行故障：（1）气动阀门位置报警：气动阀门位置报警是实际生产运行中最普遍的故障现象，这个故障在计算机画面上会显示出来。气动阀门位置报警直接引起吸附塔停运，若一个吸附塔的阀门出现报警，吸附系统可以从五塔转化为四塔运行，若两个塔出现此故障，吸附系统只能停运。考虑到气动阀门运行切换很频繁，现场环境的好坏，包括温度、灰尘、雨水是影响到气动阀门正常运行的主要的根本原因，为此在变压吸附系统阀台增设防尘防雨棚，现场运行效果良好。（2）氢气纯度超标：在正常运行中产品质量是能够保证的，但也会发生质量问题。质量问题通常由两种因素引起，一是变压吸附系统入口温度的变化，另一种原因则是吸附剂穿透失效。生产运行中可以从变压吸附系统吸附塔的前后压差来判断吸附剂是否失效，若前后压差 $\geq 0.1\text{Mpa}$ ，此时吸附剂接近失效，则需及时更换吸附剂，以避免出现氢气纯度超标，影响后续工段。

随着变压吸附技术的逐步完善，设备过关，微机控制管理，从各种含氢气体中提取氢气的变压吸附工艺得到广泛应用。变压吸附制氢与传统的水电解制氢相比具有投资少、综合能耗低、投资回收期短、工艺简单、设备紧凑、占地小、操作弹性大、自动化程度高、操作便利、开停机方便、环境污染小等优点。

变压吸附制氢装置的选择和设计注意：

（1）作为主要设备的吸附塔在工作种要承受交变应力载荷，目前国外均采用美国 ASME 规范，以疲劳分析为基础进行设计。疲劳设计曲线是建立在以光滑试件的疲劳试验基础上的，此疲劳设计曲线相对于试验数据有一个安全系数，这个安全系数已充分考虑了数据的分散度、试件尺寸、表面光滑度、操作条件、实验室环境因素及平均应力等的影响。吸附塔除在结构上要按疲劳要求进行设计

外，还要以静压力进行温度计算和以交变应力幅来验算耐疲劳能力。通过设计验算耐疲劳能力。通过设计验算合格的吸附塔寿命可达 12 万 h。

(2) 变压吸附选用的煤气压缩机采用喷脱盐水二级螺杆式加压机，使叶轮、机壳上不易结晶，另一作用又净化了煤气。

(3) 变压吸附生产对吸附剂有较高的要求，如吸附剂的机械强度高、热稳定性好、吸附性好、吸附容量大等，目前国内合资长厂生产的 5A 分子筛、活性氧化铝的性能已接近要求，某些指标已超过引进的吸附剂，只有活性炭的指标稍差一些。

(4) 要利用集散控制实现制氢装置动态工艺流程的控制、系统诊断、系统报警、打印等功能，并配置了完全模拟手操器、显示器、电气按钮和指示灯的操作系统，具备完成众多调节阀门的自动/手动、串级控制以及改变设定值、报警指示功能。利用色谱仪（在线）对气体中 CH_4 、 CO 、 N_2 、 CO_2 含量进行检测，最终与控制机构成为闭环控制系统。

西安绿森环保科技有限公司

技术部编辑