[19]中华人民共和国专利局

[11] 公开号 CN 1107751A

[12] 发明专利申请公开说明书

[21]申请号 94119094.3

[51]Int.Cl[6]

[43]公开日 1995 年 9 月 6 日

B01D 53／04

[22]申请日 94.12.15

[30]优先权

[32]93.12.16[33]US[31]168,562

[71]申请人 普拉塞尔技术有限公司

地址 美国康涅狄格州

[72]发明人 H·R·肖布 J·施莫拉列克

F·W·利维特 L·J·图圣特

K·A·拉萨拉

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

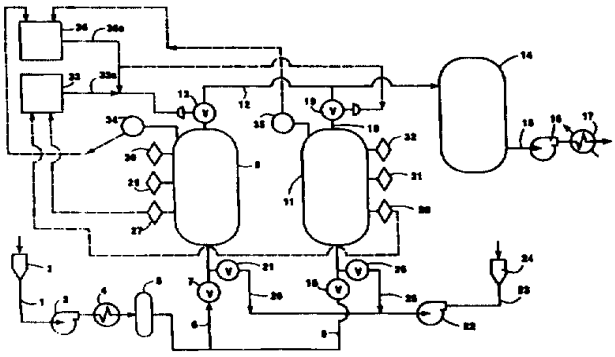
代理人 刘元金 魏金玺

说明书页数: 附图页数:

[54]发明名称 真空变压吸附系统的调谐

[57]摘要

对真空或其他变压吸附罐进行监测，并针对罐的温度曲线中出现的失衡，在均压和／或再加压步骤当中采取矫正调节，对系统进行调谐。为避免每个罐过度吹扫或吹扫不足，较好对 PSA 过程也进行吹扫调谐。



(BJ)第 1456 号

权利要求书

1．用于从进料气物流中分离和回收一种组分的变压吸附系统的调谐方法，所述系统包括至少两个能从其他组分中选择吸附进料气物流的一种组分的吸附剂床，其中每个床，按照循环的方式，经受一系列加工顺序，包括：（1）从中间压力再加压至高吸附压；（2）将进料气引入到 处于高吸附压的床的进料端，同时从该床产品端抽出不容选择吸附的组分；（3）通过从该床产品端放出气体并 将其送入系统内另一起初处于低压的床的产品端以便均压至中间压力的并流减压或均压；（4）通过从该床的进料端放气，实现逆流减压至低解吸压；以及（5）通过把自由系统内另一起初处于高压的床放出的气体送入到该床的产品端，使压力均衡至所述中间压力而实现的部分再加压或均压至中间压，该方法的改进之处包括：

（a）监测每个吸附剂床相同部位的床温，以便跟踪每个床的温度曲线；以及

（b）根据床内温度曲线变化判定系统中出现的失衡，并针对此失衡调节每个吸附剂床流出气体的净数量，具体做法是，（1）提高从温度区间超过系统正常平衡运行状态时正常温度曲线的床的产品端放出气体的净数量，该数量的气体即为另一床的回流气体量，以达到把上述温度曲线降至其正常的平衡状态，以及（2）降低从温度区间小于系统正常平衡运行状态时正常温度曲线的床的产品端放出气体的净数量，该数量的气体即为另一床的回流气体量，以便将温度曲线提高到正常平衡状态，通过以上方法，因工艺扰动而变得不平衡的系统便得以顺利地恢复到平衡运行状态，从而维持了系统的稳定高效运行。

2．权利要求1的方法，其中还包括，在起初逆流减压至步骤（4）的低解吸压之后，把该床抽真空到更低的负解吸压。

3．权利要求1的方法，其中进料气为空气。

4．权利要求2的方法，其中进料气为空气，且所述不易选择吸附的组分包括产品氧。

5．权利要求1的方法，其中所说的系统包含两个吸附剂床。

6．权利要求4的方法，其中所说的系统包含两个吸附剂床。

7．权利要求1的方法，其中在每个床的底部监测床温。

8．权利要求7的方法，其中在每个床的底部、中部和顶部监测床温。

9．权利要求7的方法，其中还包括将温度监测输入信号送至工艺过程计算机控制器，并将输出信号送至系统，针对系统内出现的失衡对每个床的流量进行调节。

10．权利要求1的方法，其中还包括对该床层进行吹扫，以促使易选择吸附的组分的解吸，以便将之在更低解吸压下从该床的进料端移出。

11．权利要求10的方法，其中所说的更低解吸压为一个更低的负解吸压。

12．权利要求11的方法，其中所说的进料气为空气，且所说的不易选择吸附的组分包括产品氧

13．权利要求12的方法，其中所说的系统包括两个吸附剂床。

14．权利要求10的方法，其中还包括调节向该床内吹扫的气体流量，以维持恒定的吹扫压力条件。

15．权利要求14的方法，其中还包括把输入的压力条件送至

工艺过程计算机／控制器，并把从中输出的信号送至控制装置以调节向该床内吹扫的气体流量。

16．权利要求15的方法，其中还包括，在最初逆流减压至较低解吸压（步骤（4））之后，把该床抽真空至更低的负压。

17．权利要求16的方法，其中进料气为空气，且所说不易选择吸附的组分包括产品氧。

18．权利要求17的方法，其中所说的系统包含两个吸附剂床，它们盛有能从空气中有选择性地吸附氮的吸附剂材料。

19．权利要求1的方法，其中步骤（1）和（2）包括向该床的进料端引入进料气体，控制其加入流量使床内压力从中间压力提高到高吸附压，与此同时，从该床的产品端抽出不易选择吸附的组分。

20．权利要求19的方法，其中还包括将该床抽真空至更低的负解吸压。

说　明　书

真空变压吸附系统的调谐

本发明涉及气体分离的变压吸附。具体地说，涉及真空变压吸附系统的调谐，以保持稳定高效运转。

变压吸附（PSA）方法已被应用于具有重要意义的场合分离和提纯气体，例如空气分离以生产产品气体氧或氮。多数PSA 过程采用多床系统来实施，其中每一床按照相对于系统内其他床不同的相位关系，经受相同的步骤顺序。这样的过程包括高压吸附、低压解吸以及由低压再加压至高压。许多PSA 过程还采用一个或多个压力均衡步骤或再加压步骤，其中气体被从一个高压下的床抽出，直接或经过一个缓冲罐，送入另一个起初处于低压的床，直至上述床达到压力均衡为止。这样做可以节省一定的压缩能量，并且通常还能提高过程中产品气，例如氧气的总回收率。

在真空变压吸附过程（VPSA）中，低解吸压力为负压，即真空解吸压。在理想的空分用VPSA加工顺序中，在一个或多个能从进料气混合物难吸附组分中选择性吸附易吸附组分的吸附剂床层里，按循环方式实施下列顺序的操作步骤：（1）每个吸附剂床的进料气从某一中间压力加压至高的正吸附压；（2）进料气以上述高吸附压引入到吸附床的进料端，易吸附组分被吸附且同时难吸附组分从床层的产物端被抽出；（3）随着从床层进料端释放气体，逆流减压至低压；（4）抽真空至较低的负压，即真空解吸压；（5）任选的吹扫，典型做法

是向处于低解吸压的床层的产物端引入少量产物气体；以及（6）床层被再加压至中间压力。此种VPSA处理顺序可被应用在单床系统或者含有两个或更多个吸附床的多床系统中。在此种处理的各种变形方法中，可以采用一个或多个顺流减压步骤，其中气体从床层的产物端释放出来，同时与系统内另一床层均压至某一中间压力。

PSA 过程，包括VPSA过程，是一种非稳态过程，受外部扰动和变量的影响。在某些情况下，一旦有扰动进入该系统，它不能针对此变化自动地自行矫正。相反，这个问题会越来越严重，会自发持续下去，直至PSA 过程不能再以峰值生产能力和效率操作为止。可能影响PSA过程的变量包括：周围环境温度、进口处进料状况、工艺设备的可变性、过程中阀位及响应时间以及其他各种因素。为使PSA 过程能在最佳状况运转，必须对其进行监测以确定是否有外部变量对过程产生干扰。一旦确认出现干扰，便可采取措施对系统进行纠正和补偿，迫使其重新运行在最佳状态。业已发现对系统运行有很大影响的一个PSA过程变量为吸附剂罐温度曲线。典型地，尤其对先进的高效吸附剂来说，在VPSA过程中沿轴向的温度曲线服从下列趋势：

吸附剂罐底部温度（进料气进口端）：

低于进料气温度30－60°F

吸附剂罐中部温度（介于进料气端进口与罐的产物端出口端的中间一点）：

低于进料气温度10－30°F

吸附剂罐顶部温度（罐的产物端）：

在进料气温度±10°F 范围内。

在PSA 过程中，若吸附剂罐温度曲线符合上述趋势，则认为该过

程运行在稳定的“调谐”状态。但是，过程中出现小扰动会很容易使罐温曲线偏斜，使之与上述标准出现很大差异。经验表明，当吸附剂罐具有远不同于本技术中通常见到的温度曲线时，则产品收率将下降，单位能耗提高，以及整个装置的运转性能恶化。尤其当在PSA，包括VPSA系统中采用较新、性能较好吸附剂材料时，该问题就变得益发严重。

为了使VPSA系统在最佳状态运行，必须手动调节系统内每个吸附剂罐的压力均衡、再加压以及吹扫流，以确保每一吸附剂床达到产生出相似产物纯度的状态。典型的做法是，在产物抽出点下游的一点与床之间接入一个氧分析仪并测量产物气临界点纯度。一旦临界点纯度达到平衡，则过程可谓处于“调谐”状态，且此时以最低单位能耗生产出最多产物气体。

Abel等人的专利，U．S．4,995,089 探讨了下游用户为断续使用情况时，来自吸附分离系统的产物流控制问题，采用差压控制器来测量产物管线内的压差（ＤＰ）。差压控制器根据测得的管线内压差值（ＤＰ）向管线中的阀门发出适当的气动信号，以控制产物流量。这种自动控制的方法只与通往用户管线的产物流量控制有关，并未针对实际的PSA 过程的操作或能使过程运行更有效的最佳化。

Schebler等人在U．S．4,589,436 中披露了另一种PSA控制方法，采用与氧分压监测仪相联的小排放阀，旨在控制产物流中的氧气分压。若上述分压上升超过预定的某一极限，排放阀会打开，从而令一小部分产物气放入大气。这导致PSA 装置产出更多气体，从而又降低产物流中氧气纯度，因而降低该物流中氧的分压。虽然该专利讨论了通过提高产物气流量来控制氧分压的方法，但却既未涉及以有效方式降低

产物流量，以避免单位能耗的提高，也未涉及PSA 罐温度或用它来控制出自特定PSA 罐的产物纯度，以克服上述工艺扰动。

另一种用于PSA 系统的自动控制方法见诸于Gunderson 的专利U．S．4,725,293 。为控制产物流内杂质含量，根据产物流纯度值来改变进口处进料流量。但是，理想地用来向PSA 系统提供进料流的压缩机为恒量位移式机器，故实际进口进料气（例如空气）的体积流量是相对恒定的，为改变用于PSA 过程的进料气总量，只能改变周期时间。在实施该专利所提出的方法时，其他工艺变量维持恒定而减少进料气将导致产物流量相应的减少。另外，该专利未提及监测吸附剂罐温度以控制PSA 过程运行期间产物的纯度。

在Grader的专利，U．S．4,673,743 中，介绍了在变动需求条件下使用PSA 系统供应氧气。当处于PSA 系统最大设计能力时，产物氧对进料空气比为一设定值。根据该专利方法，当来自用户的氧需求量从设计流量条件下降时，就提高产物氧对进料空气比。总产物纯度下降，但送往废水处理操作的产物流中的实际含氧量数值则维持在要求的流量值。因此，进料空气流量减少，或者产物流率提高，因而降低了总的氧纯度，但是在需求降低条件下能向用户供应准确的氧流量。在实施其他PSA 应用场合时，希望氧纯度维持在恒定水平。该专利没有提出有关监测床层温度，以便从PSA 过程操作的每一吸附剂床产出恒定纯度产品的方法。

Miller等人的专利U．S．4,693,730 介绍了控制PSA 产物流内气体组分纯度的方法。分析顺流减压（即压力均衡）气体，以确定是否存在产物纯度问题。一旦发现存在，就采取措施以使产物流纯度值恢复到正常水平。该专利提出了三种矫正工艺过程中存在的纯度问题的

方法。即，可以通过调整吸附步骤时间来控制PSA 系统内每个吸附剂罐中杂质负荷量；可以通过调整最终减压步骤压力以避开含杂临界点；或者，可以调整吹扫步骤期间进入每个吸附剂罐的吹扫气数量。这些措施是根据对压力均衡气体纯度的监测结果而采取的。该专利未建议床层温度监测，也未考虑当用户没有从该工艺过程抽取最大设计流量时降低出自PSA 系统产物流量带来的能耗方面的效率问题。

Miller等人提出的PSA 系统调谐方法要求抽取系统内吸附剂床的接近临界点纯度的氧气试样。这就要求使用一台额外的氧分析仪以及为“调谐”PSA 系统和平衡各吸附剂床之间产物流量及纯度而进行的工艺控制参数现场调整。这种程序需要跨越较长时间的几个逐步逼近过程，典型地约需１２－２４小时

在这顶技术方面需要一种改进的PSA 系统，包括VPSA系统的调谐方法。虽然在使VPSA系统产物纯度最佳化进行产物流控制与改变方面，已提出了建议，但为改进过程性能所做吸附剂罐调谐方法，在技术上尚未见报道。一种针对吸附剂罐调谐方法的优点在于，在任何工艺上低效率因素对PSA 系统能产生负面影响之前就努力对它们加以补偿。在采用先有技术方案的情况下，对产物流的监测，目的在于确定是否存在需要矫正的工艺问题。而就在此刻，产物流量和／或纯度已经受到影响，且必须加以补救。在潜在工艺问题出现之前就将它们解决掉乃是控制PSA ，例如VPSA过程的本质上更优越的途径。

本发明的一个目的是提供一种用来调谐PSA ，包括VPSA系统以便维持稳定、高效运行的方法。

本发明的另一个目的是提供一种根据VPSA运行期间对吸附剂罐温度曲线监测结果来调谐VPSA罐的方法。

本发明的再一个目的是，提供一种自动补偿过程扰动不利影响并使最佳操作条件得以维持的VPSA调谐方法。

本着上述以及其他目的，下面对本发明加以详述，其新颖特征将在所附权利要求书中具体指出。

对VPSA以及其他PSA吸附剂罐进行监测，并根据被扭曲的床层温度曲线自动进行调谐。当罐温监测结果确认在VPSA系统中各个床之间存在氧或其他产物纯度失衡时，立即采取矫正调节措施，以便在工艺问题出现之前，而不是当它们存在并需要纠正之后，消除之。

下面，结合所附一幅关于实施本发明的双吸附床方案的示意流程图，对本发明做详细描述。

本发明的目的系通过用吸附剂罐温度来确定是否出现气体纯度失衡达到的，此失衡是由于外部工艺扰动和变量造成的。根据对吸附剂罐温度的监测而确定的温度曲线，在压力均衡量或氧再加压量、或吹扫流数量，和 或所制产品（即氧）数量等方面，对每个罐进行调整，以便使每个床的温度曲线达到平衡。应当注意的是、这种调整的作用在于调整来自床层的净气体量，此时该净气体量就是产品制取步骤期间产生的产品气体量以及并流减压步骤期间取出的气体量，减去回流至床层的回流量。其中，回流量定义为均压流、氧或其他产品气再加压流以及注入床层的吹扫气的总量。因而，工艺低效因素在其对VPSA装置效能产生负面影响之前便被补偿了。结果，在任何具体产品纯度指标下，均达到经调谐的效能和最佳流量，同时过程能耗达到最低值。

在实施本发明时，通过先进的VPSA 系统调谐，利用VPSA 进料端床层温度和压力指示仪表分别对均压、氧的再加压和吹扫流数量进行调节。通过对循环操作的这种调节可以维持VPSA系统的高效运行，以

致固定循环加工顺序因上述外部变量影响而遭受的效能下降得以克服。

在VPSA过程中，当每个吸附剂罐产出相同纯度产物流时，就达到了给定产品纯度的最大流量。如果每个吸附剂罐产出不同纯度产品，则将导致低于最大流量的情况。在双床过程的情况下，从一个吸附剂罐流出的产品流间接影响出自另一个罐的产品流。当两罐正在产出相同纯度产品时，若出现扰动，导致一吸附剂罐产出的产品纯度低于管线中的产品纯度，则另一罐将自动地产出高于管线平均纯度的产品，原因是每个罐的流量影响另一罐中的流量。当第一个罐开始产出较低纯度产品气时，另一罐被迫产出较高纯度的产品气，以便维持管道中规定的纯度。为了使第二罐产出高纯度产品气，正常情况下通过吸附剂罐移动的产物纯度前沿，将不再被一直沿伸到床层端部，因为在该纯度前沿的边缘处存在杂质气组分，所以不能产生高纯产品气。相反地，让纯度前沿留在吸附剂罐内部，而这样又在罐内留下大量需要的气体组分有待在抽真空步骤时被抽出。出自该罐的产品气具有较高纯度，但是出自该罐的流量则要低得多才能获得这样高的纯度。这种现象的后果是，在保持与扰动前同样纯度条件下，管道内总流量下降。从另一罐中产出这种低纯度产品气的原因也跟罐内纯度前沿有关。发生这种情况时，该罐实际上被过分抽出了，而有相当体积的污染物被随同占气体流中的大多数的所需产品组分一起，从罐中抽出。人们会期待，这两种效应将互相抵消而总产品流量在保持同样管道内产品纯度条件下不受损失。而事实上，只需极少量的杂质气就能污染出自一个罐的产品流，而为了从另一吸附剂床抽出高纯度气以保持总的管道平均纯度，在这个罐的产品流中只能含有极少量的污染物。故要达到上述目的的唯一办法是在纯度前沿上升至该罐产品端之前就停止从该

罐产出气。结果，最终从这个罐抽出的产品数量远低于从低纯度罐过量抽出的流量。此种现象已在许多VPSA装置中观察到，而且多次发现，一旦这种问题开始出现，就将愈演愈烈，于是装置可能开始产生具有给定纯度的、愈来愈少的产品气量，不能自行矫正。这种过程已在VPSA装置中观察到，且发现有某种趋势的吸附剂罐温度曲线伴随此种现象而出现。

每当吸附剂罐以上面描述的方式变得“不平衡”时，产出低纯度产品的罐便逐渐出现从吸附剂床的底部，即进料端，到顶部，即产品端，温度梯度减小的现象。在这种情况下，床顶部存在较正常温度低，而吸附剂罐底部温度较正常高的情况。从罐的底部到顶部的温度梯度，此时将在10～20°F，而不是正常运行时的30－60°F。与之相反，产出高纯度产品的罐出现温度梯度增大，具有较低的底部温度和较高顶部温度。

举例说，底部温度可能比正常低10°F或更多，床层中部为平均温度，顶部温度非常高，比前面提到的典型VPSA温度曲线高出10°F或更高。这种吸附剂罐温度梯度的改变与产品纯度及其回收率的比率成比例关系。这可归因于出自各吸附剂罐的相对流量。在高纯度罐中，产物气体以低得多的流量被抽出。由于没有从该罐中充分地抽出气体，局部温度梯度有增加的趋势。在罐顶，由于只有较少的热量被抽出，此时顶部充满了氧和极少量的氮，所以温度偏高。因为通过该床层的流量偏低，热量无法以正常速率排出，而将积聚在罐顶，从而造成在失衡VPSA罐的高纯度罐中出现较大温度梯度。另方面，在低纯度产品罐中，导致出自该床层产品纯度偏低的原因是由于从该罐中气体流的过分抽出。在发生此种情况时，在每个加工周期内从床层

出来的气体流量偏高，而这种偏高的流量会形成偏低的温度曲线。VPSA过程中产生的热量被带出吸附剂罐，其结果是该罐从罐底到罐顶的温度范围很小或被减小。为了平衡每一吸附剂罐内的温度曲线，还必须使从每一吸附剂罐产物端流出来的相对流量达到平衡。

在实施本发明时，出自每一吸附剂罐产物端的相对流量要达到平衡，以便从整个VPSA运行过程中获得最高产品流量。当过程中出现失衡时，这可通过在规定的床层温度曲线中出现的变化立即判定，就会导致每一VPSA罐随之开始以不同的流量产出不同纯度的产品，此时需要对罐的流量进行调节以矫正此种失衡。为此，一种办法是改变出自每一罐产品流量的相对数量。然而这将需要额外的控制和流量测量设备。可以代之以改变进入每一罐的压力均衡、或氧再加压气的相对数量，以及若采用吹扫步骤的话，连同吹扫气流量一起改变，以便使出自每一罐的产品流总量达到平衡。在失衡期间的高纯度罐内，从该床抽出的产品流量偏低，导致该罐温度曲线被拉高。通过提高出自该罐并进另一罐的气量，抽出的总流量加大了，以便降低该罐的温度曲线。对于纯度偏低的罐，则从该罐抽出的气体总流量过大。通过降低从该罐抽出的产品气流量，从而将该罐温度曲线提高到较为正常状态，与此同时高纯度罐内的温度曲线将被压回到较为正常状态。

在实施本发明时，一台适宜的工艺过程计算机控制器采用流量控制逻辑，此逻辑较好使用底部平均温度来调节均压或产品再加压流量。这样做的原因是，底部温度对任何扰动响应最快，而且任何工艺中可能出现的变化，在罐内任何其他温度点尚未反映时首先反映在这一点上。但类似地，其他的床层温度点也可用来控制VPSA过程的运行。但是，实践表明，床层底部温度点因其响应时间较短，因而是最有效

的位置。不同罐间床层温度差被用来计算用于控制每一吸附剂罐产品端调节阀的、新的均压或产品气（例如氧）的再加压设定值，控制计算是用下列关系式，根据确定需要从罐中抽出更多或更少气量进行的。用以简便地计算要求的阀位调节量的控制逻辑方程式是基于调节时刻前1小时运行时间内平均的底部温度间的差值。该温度差值乘上增益值便得到工艺控制系统的阀位改变量。此外还采用一个重新设定重定值来改进稳定性，方法是利用调节周期之间的温度差变化速率对阀位调节量进行校正。增益值和重定值是通过为达到稳定运行进行的VPSA装置试运转而确定的数值常量。其数值将随阀门尺寸、环境条件、吸附剂材料以及VPSA系统特性而变化。阀位调节周期也是通过为达到稳定制气所做VPSA装置试运转，针对具体VPSA系统确定的。

所需的阀位调节量（%）＝增益值×（床A底部温度－床B底部温度）＋重定值×（（温度差／上1小时）－（温度差／前一时间周期））

表1中第2、3和4列所载对于床“A”的实际阀位调节数值的计算过程如下：

床“A”阀位调节量＝(0.1)(57-62)+(0.1){(57-62)-(60-60)}

第2列　　＝-0.5-0.5=-1.0

第3列　　＝(.1)(58-61)+(0.1){(58-61)-(57-62)}

　　＝-0.3+0.2=-0.1

第4列　　＝(.1)(59-60)+(0.1){(59-60)-(58-61)}

　　＝-0.1+0.2=+0.1

应当注意，阀位改变不能过于频繁。还则过程将没有时间改变由阀位变化导致的床层底部温度，结果过程将振汤不止。试车的经验表

明，调节可每隔数小时进行以维持“调谐”状态的运行。

为形象说明起见，在附图中画出了2－床VPSA过程并参考2－床VPSA制氧系统。在含有吸入过滤器2的管线1中的进料空气，被送入进料风机3、后冷却器4和水分离器5，然后或经包含阀门7的管线6进入床8的进料端或底端，或经管线9（它包括阀10）进入床11的进料端或底端。装有调节阀13的管线12从床8的产物端或顶端通到氧接受罐14，由此产品氧被送过包括氧压缩机16和换热器17的管线15，作为VPSA系统所需产品氧回收。装有调节阀19的管线18连接床11的顶部或产品端与上述的管线12。

排放管线20，包括阀21，在阀7和床8底部之间从管线6接出，接真空泵22，由此，非产品气体被沿管线23送至收集罐24，或者从系统排出。相似地，排放管线25，包括阀26，在阀10和床11底部之间，把管线9与上述排放管20连接。

吸附剂床层温度传感器27较好位于床8的底部，而吸附剂床层温度传感器28较好位于床11的底部，以便用于本发明的床调谐。应注意到，温度传感器29和30分别位于床8的中部和顶部，而温度传感器31和32类似地分别位于床11的中部和顶部。温度传感器27和28被分别配置用于将温度输入信号从床8和11送至工艺过程计算机 控制器23，它再将输出控制信号33a和33b分别发送至床8和11顶部的控制阀13和控制阀19。应当理解，上述温度输入信号亦可发自床8和11的中部的温度传感器29和31，或者发自上述床8和11上部的温度传感器30和32，用来替代或者附加于做为较好方案的上述床8和11底部温度传感器27和28。

吸附剂床层压力传感器34位于床8的顶部，而吸附剂床层压力

传感器35位于床11的顶部。两个传感器分别用于将压力输入信号送至工艺过程计算机/控制器36，后者又将输出控制信号送给分别位于床8和11顶部的上述控制阀13和控制阀19。

在实施如图所示由空气制取氧的2－床VPSA系统中的本发明时，每一床均经受如下的处理顺序：高压下吸附，此时把进料气通入床层并从其中回收氧；顺流减压，此时随着从床的产品端放出气体，床压从高吸附压降至中间压力，将上述气体通入到起初处于低压的另一床的产品端，以便在两床间实现均压达到中间压力；逆流减压，此时从床的进料端释放气体，把压力降至更低的、负压（真空）解吸压；任选地在更低解吸压下吹扫；从更低解吸压升至中间压力的部分再加压，此时气体由另一床进入该床的产品端以便均压；以及通过向该床的进料端加入进料空气，实现从中间压力到高吸附压的再加压。吸附剂床温度传感器，例如床8的传感器27和床11的传感器28，被用来监测床内的温度曲线。当出现失衡时，工艺过程控制器33发生输出信号33a和33b，以便调节控制阀8和11，以改变均压期间进、出床的气体流量。这样，在顺流减压—均压步骤期间，从低纯度罐抽出较少的气体流量并送入另一罐，以便把所说罐的温度曲线提到较为正常范围，此时纯度较好地被提高。在高纯度罐的并流减压－均压期间，从其中抽出较多量的气体，其结果趋于使该床温度曲线压缩成（同时也为另一床所达到的）比较正常的范围，从而实现VPSA系统调谐的目的。

虽然已参考2－床系统的附图对本发明做了说明，但应该理解的是，本发明还适用于操作期间需调谐的、具有不同数目床的系统，以维持具有稳定高效能的平衡运行。还应该理解的是，每一床所采用的

处理顺序可以包括除上面提到以外的处理步骤或其变换形式，而不背离所附权利要求中列举的本发明范围。

虽然已具体地针对PSA 系统，例如用于从进料空气分离和回收氧产品的VPSA系统，对本发明做了说明，但熟悉本技术的人们会明白，把这里介绍的调谐方法用于其他重要的PSA 气体分离操作，仍属本发明范围之内。故而，本发明可用于空分制氮操作以及其他分离操作，例如氢／甲烷、甲烷／一氧化碳等等。在本发明优选的实施方案中，如下面所述，在床层吹扫调谐中采用压力传感器 3 4 和 3 5 与工艺过程计算机／控制器 3 6 并用，以便控制进入床的吹扫气流量，使吹扫操作期间维持恒定压力，例如，在VPSA系统中每一床的吹扫期间，有利地维持恒定的真空余压。

虽然通常分步地实施PSA 处理顺序，其中，床压首先由中间压升至高吸附压，然后把进料气引入到处于高吸附压床的进料端，并从床的产品端抽出不易选择吸附的组分，但是采用这种方法的一种熟知的变换方法仍属本发明的范围。因此，上述步骤可以按如下方式实施：将进料气引入到床的进料端时控制流量，使其压力从中间压升至高吸附压，与此同时，从床的产物端抽出不易选择吸附的组分。在实施这种升压吸附步骤时，可以随后向床内加入或不加入另外数量的进料气，同时，在并流减压－均压步骤开始之前，在吸附压力下抽出不易选择吸附的组分。

为进一步说明本发明的实施方法，假定附图中所载系统所描述的 2 －床VPSA系统具有的控制系统，被调整为两次调节之间时间延迟为 6 小时的情况，其中每次调节对每个产品端压力均衡／氧产品气再加压阀确定一个新的阀位。现在参见下面的表 1 以帮助理解所用控制逻

辑，假定调节时刻为上午6点，床A和床B间底部床温差的计算便是，根据从上午5点至6点间1小时平均温度算出，然后将前述公式增益值与此温差相乘。公式中重定值计算方法是，求上午5点至6点间1小时平均底部床温差，从中减去从晚11点至晨12点期间的平均底部床温差。重定值乘上该数量，为了确定所需的阀位调节量，从公式的增益值中减掉公式的总重定值，如表1所载。该阀位调节量可正可负，且被加到当前阀位控制设定点上去。假如床A正在产出高纯度气，而床B正产出低纯度气，则床A顶部温度将偏高，而床A底部温度将低于床B底部温度，于是阀位调节量将为负值。这意味着，在向床A均压期间，床A顶部阀门将关小一个调节量，使得离开床B的气体量减少，于是床B倾向于以低一些的流量相应地产出纯度高一些的产品。调节公式可方便地用来将床A和床B的顶部阀阀位改变相同的数量，然而改变方向相反。因此，当床B进入均压或再加压步骤时，对于上述计算的阀位调节量而言，其顶部阀将离启开一个阀位调节量，从而导致有更多的气体离开床A,并因而降低了该床中气体的纯度。

表 1

	时 间			
	晚11点－晨12点	晨5点－晨6点	晨11点－正午	晚5点－晚6点
床“A”温度	60°F	57°F	58°F	59°F
床“B”温度	60°F	62°F	61°F	60°F
温差,床“A”－床“B”	0	-5	-3	-1
阀位调节量,床“A”	0	-1.0	-.1	+.1
阀位调节量,床“B”	0	+1.0	+.1	-.1
阀位设定值,“A”床	50%	49.0%	48.9%	49.0%
阀位设定值,“B”床	50%	51%	51.1%	51.0%

假定：

1）初始阀位设定值为50%

2）增益值＝0.1

3）重定值＝0.1

在VPSA（或其他PSA）过程中，影响流出VPSA罐总流量的另一个步骤是吹扫步骤。重要的是，在更低解吸压下抽真空期间，吹扫气量是为脱除解吸气所需的恰当数量。故而，通入正在抽真空罐的吹扫气量应产生与抽气流量相等的废气流量。如果罐被过度吹扫，则吹扫流

将在开始吹扫步骤之前产生一股大于抽气流量的废气流，于是罐内压力开始升至超过低解吸压。一旦出现此种升压，被解吸并正被抽出的杂质气体（即进料气中易吸附组分）的分压将发生变化，从而将导致一小部分杂质再吸附到床层吸附剂材料表面上，从而降低了吹扫效果。如果罐吹扫不足，则吹扫流将产生一股小于抽气流量的废气流，罐内压力会继续降低。在这种情况下，吹扫步骤在将杂质从罐中清洗出去方面将在一定程度上更为有效，然而在废气压缩方面将消耗更多能量。正因为如此，控制吹扫流量，以便在吹扫步骤期间抽真空床处于基本上恒定的低解吸真空余压之下，是很重要的。已设计出了一个将吹扫流量控制在上述标准的控制方案。

在VPSA过程的吹扫调谐中，吹扫步骤的顶部阀位设定值作了改变，以便在抽真空罐中，吹扫步骤的开始和终了阶段之间的设定压差维持不变。从技术角度来说，吹扫步骤系一恒压步骤，其中在吹扫步骤期间，抽真空罐保持在恒定真空度之下。然而，在向抽真空罐内开始吹入气体时刻，阀门打开，将出现一个由于吹扫气体流入抽真空罐造成的顶端压力的小幅度升高，以及由于该气流引起的吸附剂床压力降低。如果罐内吹扫流量恰当，该压力将在整个吹扫步骤期间保持恒定。假如在顶部压力初始升高之后，罐内压力继续上升，则表明吹扫流量太高。用于控制向每个吸附剂罐吹扫的流量的一般公式如下：

所需阀位调节量＝增益值×（理想压力升高值－实际压力升高值）

例如，假设增益值等于1.0，理想压力升高值为0.5磅／平方英寸，若吹扫步骤从开始到终了的平均实际压力升高为0.25磅／平方英寸，则阀门调节量将等于0.25%，故吹扫阀控制设定值将增加这样一个数量，以便提高向抽真空罐的吹扫流量。在下面的表2中，给出了过度

吹扫和吹扫不足实例的吹扫步骤阀门设定值。吹扫阀的调节频率并不重要，已发现，每4次处理循环调整一次是足够了。

表　　2

	4个循环终点	4个循环终点	4个循环终点	4个循环终点
床“A”实际升压	0.5	.45（吹扫不足）	.38（吹扫不足）	.48（吹扫不足）
床“B”实际升压	0.5	.63（过度吹扫）	.57（过度吹扫）	.52（过度吹扫）
阀门调节量,床“A”	0	+0.05%	+.12%	+0.02%
阀门调节量,床“B”	0	-.13%	-.07%	-0.02%
阀位设定,床“A”	25%	25.05	25.17%	25.19%
阀位设定,床“B”实际升压	25%	24.87%	24.8%	24.78%

假定：

1）初始阀位设定值为25%

2）增益值＝1.0

3）理想压升高＝0.5磅／平方英寸

从以上公开的内容将会体会到，按照本发明的VPSA系统以及其他PSA 系统的调谐，提供一种明显优于以往做法的改进，以往做法涉及在吸附剂床，例如在一个 2 －床系统的 2 床共同产品管线上连接一个纯度分析仪。虽然以往做法做到了为平衡临界点纯度而进行的对均压或再加压阀控制设定点的调节，但是本发明的方法能为在潜在工艺问题出现之前便将其解决而进行理想调节，从而最大限度地减少任何对所需产品流量和／或纯度值的不利影响。因此，本发明的VPSA调谐方法能方便地调节处理周期，从而有利地维持VPSA或其他PSA 系统所需的稳定、高效的特性。

说 明 书 附 图

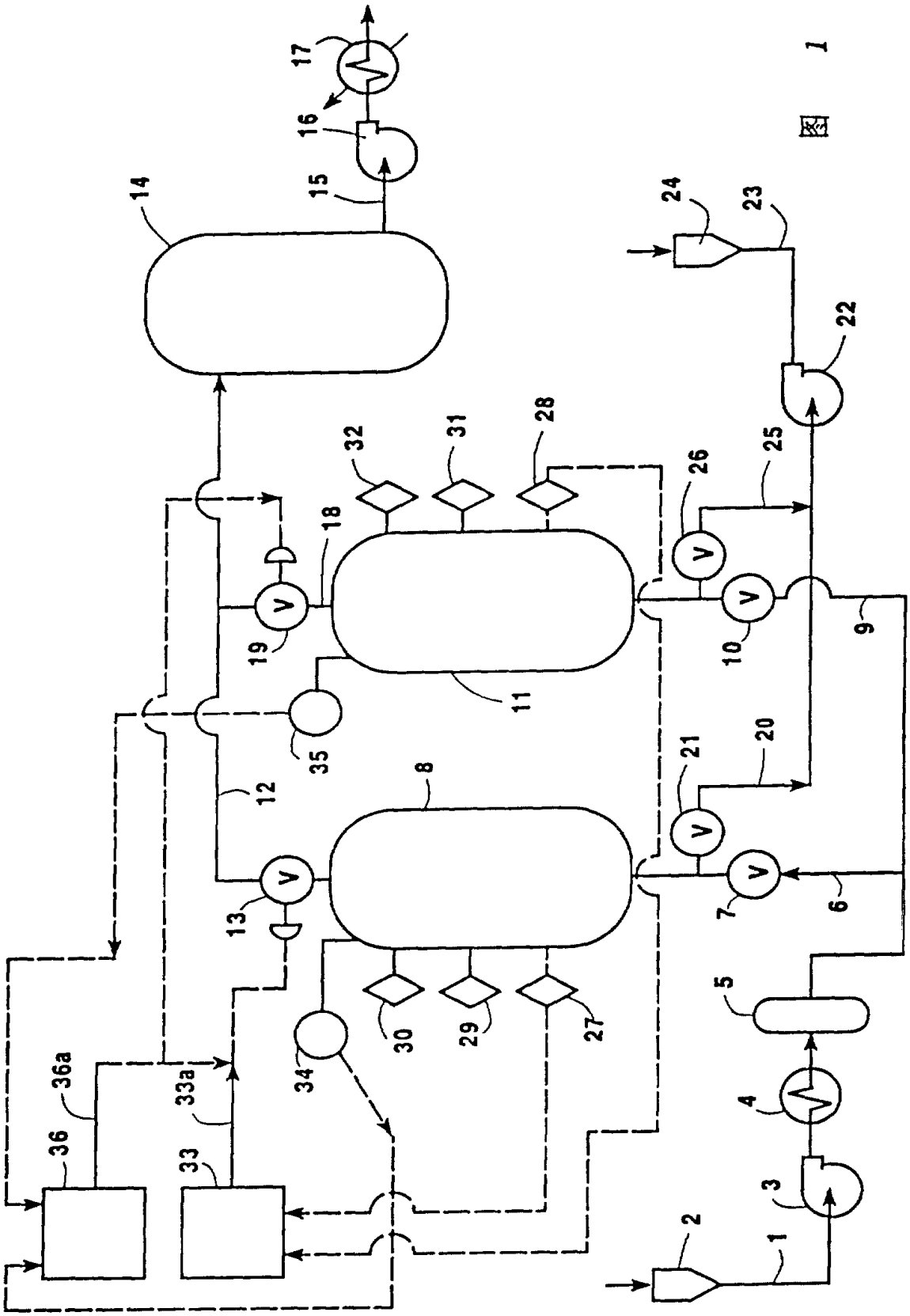

17
16
15
14
24
23
22
32
31
28
26
25
18
19
10
9
11
35
12
8
21
20
13
7
6
5
30
29
27
34
4
36a
33a
36
33
3
2
1

图 1