



# [12]发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 92104388.0

[51] Int.Cl<sup>5</sup>

B01D 53/04

[43] 公开日 1993年2月24日

[22]申请日 92.5.13

[30]优先权

[32]91.5.13 [33]JP [31]135385/91

[71]申请人 东洋工程株式会社

地址 日本东京

[72]发明人 山口俊雄 小林康

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

代理人 魏金玺

C01B 3/56

说明书页数: 14 附图页数: 9

[54]发明名称 气体分离方法

[57]摘要

采用已知的变压吸附方法从氢气中分离气体杂质的方法,采用一个输入/输出次序保持型存留塔和至少三个含有吸附剂的吸附塔。每个吸附塔被循环加压和减压以重复吸附和解吸附过程,其中存留塔被用作中间储气罐,以提高分离杂质的效果。本发明中存留塔具有以下至少一种结构:

- j)至少一列由隔板隔开的串联空间;
- k)至少一个空腔;
- l)至少一列隔开的串联分隔仓。

>07<

# 权 利 要 求 书

---

1. 一种采用多个含有吸附剂的吸附塔来分离气体混和物中气体杂质以获得纯净气体的方法，所述方法包括在至少三个吸附塔中重复吸附和解吸附的交替循环过程，包括以下步骤a-i：

a) 将气体混和物通过第一吸附塔的入口引入其中，从第一吸附塔的出口排出提纯气体，在第一吸附塔失去吸附能力且提纯气体的纯度降到标准值以下之前停止输入和排出气体；

b) 将至少一个吸附剂已被再生的其它吸附塔的出口与已完成步骤a的第一吸附塔的出口相联，使两个吸附塔气压相等，再切断联系；

c) 将已完成步骤b的第一吸附塔的出口连到一个存留塔的第一端，该存留塔为输入/输出次序保持型，且通过将该存留塔的第二端连到另一个已像第一吸附塔一样完成步骤a、b的吸附塔的至少一个出口上面含有一种气体，这样，第一吸附塔中的气体可以进入存留塔，直至由第一吸附塔中吸附床所吸附的气体组份开始释放到气体中为止；在气体由第一吸附塔进入存留塔时，将存留塔的第二端持续连在已完成步骤a、b、c和下述步骤e的第二吸附塔出口，这样采用被流入的气体挤出存留塔的气体来清洗第二吸附塔，流入存留塔的气体含有部分纯净气体；

d) 根据需要关闭第二吸附塔的清洗阀，将第二吸附塔与第一吸附塔彼此相联，使两者气压相等，然后切断联系；

e) 关闭已完成步骤c、d的第一吸附塔的出口，通过设置在第一吸附塔入口一侧的清洗阀对其减压至最低气压，从而吸附在其吸附床上

的组份被解吸附并被清除；

f) 将已像第一吸附塔一样完成步骤a、b的第三吸附塔的出口连在存留塔的第二端，从而第三吸附塔中的气体可以进入存留塔，直至由第三吸附塔中的吸附床所吸附的组份开始释放到气体中为止，流入存留塔的气体可视需要含有部分纯净气体；在气体从第三吸附塔进入存留塔时，将存留塔的第一端保持连接在已完成步骤e的第一吸附塔的出口，从而采用被流入存留塔的气体挤出其中的气体来清洗第一吸附塔，流入存留塔的气体最好视需要而含有部分纯净气体；

g) 根据需要关闭第一吸附塔的清洗阀，以将第一吸附塔与第三吸附塔彼此相联，使两者气压相等，然后切断联系；

h) 将至少另一个已像第一吸附塔一样完成步骤a或步骤a、b的吸附塔的出口在关闭该吸附塔和第一吸附塔入口的同时连到已完成步骤f或g的第一吸附塔出口，从而所述另一个吸附塔中的气体可以进入第一吸附塔，该气体最好视需要含有部份纯净气体，将所述的另一个吸附塔和第一吸附塔进行至少一次等压操作，再切断联系；

i) 在关闭已完成步骤h的第一吸附塔入口的同时通过其出口将质量等同于纯净气体的气体引入其中，使第一吸附塔的气压与上述气体的气压相等，再关闭第一吸附塔的出口；

其中所述存留塔包含以下结构之一或其组合：

j) 至少一列由隔板隔开的串联板空间；

k) 至少一个空腔；

l) 至少一列隔开的串联的分隔仓；

其中以米为单位的存留塔气流通道长度为L(米)，体积为V(立方米)，存留塔为j或k时，长度为L时，每列分隔仓的总数目(N)

不小于 20， $L^3 / V$  不小于 200。

2. 如权利要求 1 的方法，其特征在于：采用 5 - 8 个吸附塔，调整供给混合气体的吸附塔数目以使混和气体及纯净气体流速恒定，并调整流经每个吸附塔的气流速度，以缩短每个吸附塔中吸附杂质所需时间。

3. 如权利要求 1 的方法，其特征在于：在将存留塔与任一个吸附塔相连以使气体流入或流出存留塔时，存留塔内气体平均线速度不小于 0.5 厘米。

4. 如权利要求 1 的方法，其特征在于：存留塔部分地填有填料。

5. 如权利要求 1 的方法，其特征在于：提纯气体是含极纯氢气的气体混和物。

## 气 体 分 离 方 法

本发明涉及一种采用吸附剂来有选择地从气体混合物中分离气体组份的方法。

从气体混合物中有选择地分离气体组份，特别是气体杂质的方法中，通常是用吸附层中的吸附剂来吸附气体杂质。当吸附剂达到它的使用极限时，对吸附层进行减压处理，再用不含气体杂质的气体清洗该吸附层，从而将气体杂质从吸附层吸出，以进行吸附剂的再生。

在这些方法中，日本专利说明书47051/1987（下面略作051）公开了一种可减小经处理（即经提纯）的气体损失的气体分离方法。

按照这个方法，气体杂质被有选择地绝热吸附在吸附剂上。再将吸附剂减压并在低压下用气体清洗，所用气体可为较纯的气体或稍有不纯的气体，从而进行气体杂质的解吸，从而实现吸附剂的再生。再将吸附剂加压。已有方法的特点是交替循环使用许多吸附塔来将气体杂质从气体混合物中分离出来，以得到纯净气体。每一循环包含几个步骤，由第一吸附塔起始，其吸附剂在吸附气体杂质后已经疲劳。这些步骤包括：

通过第一吸附塔的出口对其减压，此时第一吸附塔的入口关闭，使存在于第一吸附塔中的气体得以膨胀；

通过另一个已经被再生的吸附塔的入口将膨胀的气体导入该吸附

塔中直至该吸附塔的气压与第一吸附塔相等；

通过第一吸附塔的出口对其进一步减压，以使存在于第一吸附塔中的气体进一步膨胀，再将进一步膨胀的气体从一个填料塔的一端引入其中，该填料塔具有高间隙的隋性无孔填料；

通过该填料塔的另一端从吸附剂已经疲劳钝化的第二吸附塔中将进一步膨胀的气体引入填料塔，以排除填料塔中首先提及的那股膨胀气体；

通过第一吸附塔的入口将其减压至最低气压，将从填料塔排出的首先提到的膨胀的气体的全部或部分引入第一吸附塔，以清洗第一吸附塔，并且若剩有从填料塔排出的首先提到的膨胀气体，就将其所剩部分通过第三吸附塔的入口引入到已被再生的第三吸附塔中，以将第三吸附塔加压到中等水平；

在关闭第一吸附塔入口的同时通过其出口将疲劳的第四吸附塔中的膨胀气体引入已被再生的第一吸附塔中，直至第四吸附塔与第一吸附塔气压相等；

在关闭第一吸附塔入口的同时通过其出口从气源将质量同于纯净气体的气体引入第一吸附塔，直至第一吸附塔内的气压等于气源气压；

将含有气体杂质的气体混合物通过第一吸附塔的入口引入其中，再从其出口排出经提纯的气体。

上述已有方法的优点是纯净气体的损失较小。但由于采用了填有高间隙填料的填料塔作为气体留存塔，将会产生下述实际问题。

制备或购买置于填料塔中的填料并非易事，并需较长时间。同时还需要现场填装这些填料。这就大大增加了填料塔的重量和成本。此外，在检查填料塔内部时需将填料取出再填入，这也需要时间和经费。

本发明的目的是改进上述传统方法，并提供一种采用较易制造、安装、检验的设备并适于实际操作的气体分离方法。

本发明提供一种采用多个含有吸附剂的吸附塔来分离气体混和物中气体杂质以获得纯净气体的方法，所述方法包括重复至少三个吸附塔的吸附和解吸附交替循环过程，包括以下步骤a-i：

a) 将气体混和物通过第一吸附塔的入口引入其中，从第一吸附塔的出口排出提纯的气体，在第一吸附塔失去吸附能力且提纯气体的纯度在标准值以下之前停止输入和排出气体；

b) 将至少一个其它的其吸附剂已被再生的吸附塔的出口与已完成步骤a的第一吸附塔的出口相联，使两个吸附塔气压相同，再切断联系；

c) 将已完成步骤b的第一吸附塔的出口联到一个存留塔的第一端，该存留塔为输入/输出次序保存型，且通过将该存留塔的第二端联到另一个已像第一吸附塔一样完成步骤a、b的吸附塔的至少一个出口上面含有一种气体。这样，第一吸附塔中的气体可以进入存留塔，直至由第一吸附塔中吸附床所吸附的气体组份开始释放到气体中为止；在气体从第一吸附塔进入存留塔时，将存留塔的第二端持续连在已完成步骤a、b、c和下述步骤e的第二吸附塔出口，从而采用被流入存留塔的气体挤出存留塔的气体来清洗第二吸附塔，流入的气体根据需要最好含有一部分纯净气体；

d) 根据需要关闭第二吸附塔的清洗阀，以将第二吸附塔与第一吸附塔彼此相联，使两者气压相等，然后切断联系；

e) 关闭已完成步骤c、d的第一吸附塔的出口，通过设置在第一吸附塔入口一侧的清洗阀对其减压至最低气压，从而吸附在其吸附床上

的组份被解吸附并被清除；

f) 将已像第一吸附塔一样完成步骤a和b的第三吸附塔的出口连在存留塔的第二端，从而第三吸附塔中的气体可以进入存留塔，直至由第三吸附塔中吸附床所吸附的组份开始释放到气体中为止，所述进入存留塔的气体可根据需要含有一部分纯净气体；在气体从第三吸附塔进入存留塔时，将存留塔的第一端保持联接在已完成步骤e的第一吸附塔的出口，从而采用由流入存留塔的气体挤出其中的气体来清洗第一吸附塔，流入的气体最好根据需要含有部分纯净气体；

g) 根据需要关闭第一吸附塔的清洗阀，以将第一吸附塔与第三吸附塔彼此相联，使气压相等，然后切断联系；

h) 将至少另一个已像第一吸附塔一样完成步骤a或步骤a、b的吸附塔的出口在关闭该吸附塔和第一吸附塔入口的同时连到已完成步骤f或g的第一吸附塔的出口，从而所述的另一个吸附塔中的气体可以进入第一吸附塔，该气体最好根据需要含有部份纯净气体，将所述的另一个吸附塔和第一吸附塔进行至少一个等压操作，再切断联系；

i) 在关闭已完成步骤h的第一吸附塔入口的同时通过其出口将质量等同于纯净气体的气体引入其中，使第一吸附塔的气压与上述气体的气压相等，再关闭第一吸附塔的出口；

其中存留塔包含以下结构之一或其组合：

j) 至少一系列由隔层隔开的串联的空间；

k) 至少一个空腔；

l) 至少一系列串联的分隔仓；

其中当存留塔为j或k时，其  $L^3 / V$  不小于 200，L为以米为单位的存留塔气流通道长度，V为以立方米为单位的存留塔气流通道

体积；当存留塔为 L 时，每列分隔仓的总数目（N）不小于 20。

根据本发明，可有效地实现从气体混合物中吸附分离气体组份的操作，而不必浪费纯净气体。这样，可采用轻型设备，使得易于制造和安装。此外，这些设备易于检修。相应地，与传统分离方法相比，这种分离方法成本较低。

附图说明：

图 1 是实现本发明方法的流程图；

图 2 是本发明方法的一个步骤循环中时间——压强图实例；

图 3 是本发明方法的一个步骤循环中时间——压强图的另一个实例；

图 4（a）、4（b）和 4（c）是本发明所用的存留塔实例的示意图，该存留塔具有一组由隔板隔开的串联空间。图 4（a）是横截面，图 4（b）是纵截面，图 4（c）示出隔板。

图 5（a）和图 5（b）是本发明所用存留塔的另一实例的示意图，该存留塔具有一组由隔板隔开的串联空间。图 5（a）是在挡板处的横向截面，图 5（b）是纵截面。

图 6 是用于本发明的另一种存留塔的示意图，它具有单一管状空腔。

图 7 是用于本发明的又一种存留塔的示意图，它具有 U 形的正向、反向流体通道。

图 8 是本发明所用的另一种存留塔的示意图，它具有 4 列管状空腔。

图 9 是本发明所用的另一种存留塔的示意图，它具有串联的小分隔空间。

图 1 0 是在本发明方法的一个步骤循环中时间——压强图的另一个实例。

本发明中所用的输入/输出次序保持型存留塔可以接收、保持和输出在流体通道长度方向上具有一定浓度分布的气体混合物，同时可保持这种分布。在步骤 C 当气体从第一吸附塔流入存留塔中时，吸附在第一吸附塔的吸附床（下面称为“第一吸附床”）上的特定组份（下面称为“杂质”，但并不限于此）被解吸附。相应地，从第一吸附塔流出的气体中杂质浓度在初始阶段较低，而在最后阶段则较高。这样，流入存留塔的气体的杂质有一个浓度梯度。在步骤 f 中，具有上述浓度梯度的气体沿着与该气流流入存留塔相反的方向流动，以清洗第一吸附塔。通过清洗进一步清除第一吸附床上的杂质。流入第一吸附塔的气体其杂质浓度梯度为开始时较高而逐渐变低。这样，在第一吸附床污染较重时用较为不纯的气体清洗它，再使第一吸附床变得干净的气体清洗。这样就实现了较经济和有效的清洗。

下面参照附图介绍本发明所用的存留塔实例。

参照图 4 (a) - 4 (c) 和图 5 (a) - 5 (b) 介绍具有由隔板隔开的串联空间列的存留塔的第一和第二实例。

图 4 (a) 是存留塔的第一实例（下面称为“第一存留塔”）的简化纵截面图，而图 4 (b) 是第一存留塔的简化横向截面图。第一存留塔具有一个由外管和内管构成的双壁管状结构，如图 4 (a) 和 4 (b) 所示。第一存留塔内部进一步由图 4 (c) 所示的隔板隔开，从而第一存留塔内部被分为 8 个区域。气体从第一存留塔的底部流入其中，再从其底部流出。这样，图中给出的第一存留塔具有四列串联的两个空间，所述四例空间分别由隔板隔开。气体流动通道的长度 L 是内管

长度 ( $L/2$ ) 的两倍, 而每列的体积  $V$  是整个第一存留塔内部容积 ( $4V$ ) 的四分之一。设置在第一存留塔底部的气体入口和出口装有气体喷头, 它可具有数个孔径。

图 5 (a) 是存留塔的第二实例 (下面称为“第二存留塔”) 在挡板位置的简化横截面图, 而图 (5b) 是第二存留塔的简化纵向截面图。如图所示, 第二存留塔的内部被 7 个挡板分开, 以形成一组八个串联空间。由于气体可以从两端流入流出, 则第二存留塔构成由挡板分开的单列 8 个串联空间。在此例中, 体积  $V$  等于整个第二存留塔的总体积。气流通道由图 5 (b) 中的虚线锯齿线表示。第二存留塔设计成气流通道的整个长度等于  $L$ 。如图 (5a) 中的“X”标记所示, 气流通道的长度测量是假定气流通道的每个转折点位于其截面中心 (即截面区域的重心), 而该通道由相应挡板的边缘和第二存留塔的边壁所限定。设置在第二存留塔两端的气体入口和出口带有气体喷头。

下面结合图 6 - 8 介绍至少带有一列空间的存留塔第三至第五实例。

图 6 是存留塔第三实例 (下称第三存留塔) 的简化纵截面图。第三存留塔作成单一的管状空腔。在本例中, 管状空腔的长度和体积分别对应于气流通道的长度和体积。

图 7 是存留塔第四实例 (下称第四存留塔) 的简化示意图。第四存留塔被作成带有 U 形正向反向流体通道的管状空腔。正向反向气流通道的总长度及内部容积分别为  $L$  和  $V$ 。

图 8 是存留塔第五实例 (下称第五存留塔) 的简化示意图。第五存留塔被作成 4 列管状空腔。在每列中心附近的标记表示一个孔或孔板, 用此阻断气体连通。在第五存留塔中, 管状空腔的长度和内容

积分分别为  $L$  和  $V$ 。

图 6 - 8 示出的存留塔在其端部的气体入口和出口均带有气体喷头。

下面参照图 9 介绍存留塔的第六实例，它具有彼此分开的串联小分隔仓。

这些小分隔仓是在大管子内部分隔而成的。柱状气体喷头设置在管子两端及分隔小空间的挡板中部。在本例中，各气体喷头由与之相连的相应空心圆柱体支承。然而也可以不用这种支承。在本例中， $N$  是小分隔仓的总数。每个气体喷头带有数个小孔，从而含于相邻的上游小分隔仓中的气体在喷头处混合，再流入下游的小分隔仓中。箭头表示气流通道。

参照图 4 (a) - 9 介绍的是直立的柱状存留塔。当然它们也可改成水平构造的或方形截面的。

本发明可被用于各种需要从气体混合物中有选择地分离一种或数种杂质以获得高纯度气体的场合。本发明特别适用于从精炼废气、乙烯厂废气或蒸汽转化气中获取较高杂质浓度(几百 ppm 以上)的气体产品。

在本发明中，气体中某种杂质的浓度可以通过调整清洗气中杂质的浓度梯度以确定提纯气体组份、或通过调整循环时间以事先控制清洗气浓度梯度来进行控制。这种循环时间的调整可用手动或自动控制来实现。

用本发明的方法进行处理的<sup>1</sup>气体是由氢气及至少一种待清除气体杂质构成的混和气体。气体杂质可包括：甲烷、除甲烷外的气态烃、二氧化碳及一氧化碳。

下面参照图 1 - 3 介绍本发明的气体分离方法。

图 1 是采用 4 个吸附塔和一个存留塔的本发明方法的流程图。图

中主要部件如下：

A - D : 吸附塔；

R : 存留塔；

A<sub>1</sub> , B<sub>1</sub> , C<sub>1</sub> 及 D<sub>1</sub> : 待处理气体的入口阀门；

A<sub>2</sub> , B<sub>2</sub> , C<sub>2</sub> 及 D<sub>2</sub> : 排气清洗阀；

A<sub>3</sub> , B<sub>3</sub> , C<sub>3</sub> 及 D<sub>3</sub> : 通到存留塔的连通阀；

A<sub>4</sub> , B<sub>4</sub> , C<sub>4</sub> 及 D<sub>4</sub> : 加压或减压阀；

A<sub>5</sub> , B<sub>5</sub> , C<sub>5</sub> 及 D<sub>5</sub> : 提纯气体出口阀门；

R<sub>1</sub> 及 R<sub>2</sub> : 存留塔的入口和出口阀门；

P<sub>1</sub> 用提纯气体加压的阀门。

图 2 是当清洗气体不多于所需数量时操作过程的时间——压强图。

下面以吸附塔 B 作为第一吸附塔逐一步骤介绍图 1 的操作过程。

分步骤 1 - 4 (步骤 a) :

通过入口阀门 B<sub>1</sub> 在高压下将待处理气体引入第一吸附塔 B 中，在吸附塔 B 中，在吸附杂质后，提纯的气体通过出口阀门 B<sub>5</sub> 排出。在吸附塔 B 不再具备吸附能力且提纯气体纯度降到标准值以下之前关闭阀门 B<sub>1</sub> 和 B<sub>5</sub>，结束吸附过程。

分步骤 5 (步骤 B) :

通过阀门 B<sub>4</sub> 对吸附塔 B 减压。流出吸附塔 B 的气体被用来对另一吸附塔 D 加压。

分步骤 6 :

通过阀门 B<sub>3</sub> 对吸附塔 B 进一步减压。流出吸附塔 B 的气体通过阀门 R<sub>2</sub> 送入存留塔中。持续进行此过程，直至流出吸附塔 B 的气

体中出现杂质的释放。

分步骤 7 (分步骤 6 和 7 对应于步骤 C) :

存储在存留塔 R 中的气体被从第一吸附塔 B 流入存留塔 R 的气体挤出, 再通过阀门  $R_1$  和  $A_3$  引入第二吸附塔 A, 由此杂质从第二吸附塔 A 被清除。

分步骤 8 (步骤 e) :

关闭阀门  $B_3$ , 打开阀门  $B_2$ , 从而吸附塔 B 的内部压强被降低至最低点 以解吸附杂质。

分步骤 9 (步骤 f) :

存储在存留塔 R 中的气体被从第三吸附塔 C 流入存留塔 R 的气体挤出, 再通过阀门  $R_2$  和  $B_3$  引入第一吸附塔 B, 由此将杂质从第一吸附塔 B 中清除。

分步骤 10 (步骤 h) :

从第四吸附塔 D 流出以对其减压的气体与部分纯净气体通过阀门  $B_4$  引入第一吸附塔 B, 以使第一吸附塔 B 的内部压强升高。

分步骤 11 - 13 (步骤 i) :

通过阀门  $P_1$  和  $B_4$  将部分纯净气体引入第一吸附塔 B, 以将第一吸附塔 B 加压至吸附压强。

图 3 是在清洗气体多于所需数量且多余的清洗气体被用来对吸附塔重新加压时其操作过程的时间 - - - 压强图。

下面以吸附塔 B 为第一吸附塔逐一介绍图 3 的操作过程。

分步骤 1 - 4 (步骤 a)、分步骤 5 (步骤 b) 和分步骤 6 - 7 (步骤 c) 与图 2 的相应分步骤相同。

分步骤 8 (步骤 d) :

关闭第二吸附塔 A 的清洗阀  $A_2$ ，通过吸附塔 B 中的多余清洗气体使吸附塔 B 与吸附塔 A 压强再度相等。

分步骤 9（步骤 e）、10（步骤 f）分别等同于图 2 的分步骤 8 和 9。

分步骤 11（步骤 g）：

关闭吸附塔 B 的清洗阀  $B_2$ ，通过吸附塔 C 中多余的清洗气体使吸附塔 C 与吸附塔 B 压强再度相同。

分步骤 12（步骤 h）和 13 - 15（步骤 i）分别等同于图 2 的分步骤 10 和 11 - 13。

介绍本发明方法时使用了 4 个吸附塔为例。然而吸附塔的数目不必限于 4 个。例如，采用 5 - 8 个吸附塔可缩短每个吸附塔吸附所需的时间，也可通过改变送入待处理气体的吸附塔的数目以使待处理气体和提纯气体的流速恒定，或适当调整通过每个吸附塔的气流速度来缩短所需吸附时间。此外，采用 6 个吸附塔可以实现图 10 时间 - 压强图所示的操作过程。

在本发明的方法中，在将存留塔与任一个吸附塔连通以将气体送入存留塔或使气体流出时，气流通道长度方向上的气体浓度分布必须保持原分布。为此，进行操作时在存留塔中气体平均线速度应被控制在 0.5 厘米以上。

气体杂质在气体中产生的扩散主要起因于气体的混和及气体杂质分子的扩散。另一方面，当存留塔为非填料塔时，可通过增加  $L^3/V$  或减小气体线速度来减小由于气体混和而产生的扩散。尽管气体分子扩散的影响小于气体混和导致的扩散，选择较大的气流通道长度值  $L$  仍可减小分子扩散的影响。另外，不应过份地降低存留塔中气体的线

速度。

在采用本发明方法的一个实施例中，存留塔可部分地装填。例如，填料可填在存留塔入口和出口处以作为气体喷头。

下面参照部分附图介绍本发明的实施例。

实施例 1：

采用图 1 所示流程的气体分离系统，按图 2 的曲线进行气体分离操作。

待处理气体混和物组份如下（干燥体积百分比）：

$H_2$  : 72.5,  $CH_4$  : 19,  $C_2H_6$  : 5,  $C_3H_8$  : 2,  $n-C_4H_{10}$  : 1,  $n$ -和*i*- $C_5H_{12}$  : 0.5

将该气体混和物以 2.9 公斤/平方厘米的压强（绝对值）和 30°C 下以  $1650 \text{ Nm}^3$  /小时的流速送入图 1 的分离系统。分离后可获得流速为  $993 \text{ Nm}^3$  /小时，纯度为 99.99%（体积）的提纯氢气。即经处理的气体混和物中的约 83% 的氢气被恢复为纯净气体。循环时间为 24 分钟，废气以 1.3 公斤/平方厘米（绝对值）的压强被释放。

四个吸附塔中的每个直径为 0.7 米，高为 5.0 米。每个吸附塔上部四分之三填有平均粒径 2.5 毫米的活性炭，下部四分之一填有平均粒径 1-2 毫米的硅胶。存留塔具有图 4 的结构，直径 1.0 米，高 3.8 米。

实施例 2：

采用图 1 所示的气体分离系统，按照图 3 的过程进行气体分离。

待处理气体混和物的组份如下（干燥体积百分比）：

$H_2$  : 72.5,  $CH_4$  : 19,  $C_2H_6$  : 5,  $C_3H_8$  : 2,

$n - C_4 H_{10} : 1, n - \text{及} i - C_5 H_{12} : 0.5$

气体混和物以 2.9 公斤/平方厘米 (绝对值) 的压强和 30 °C 下 1650  $N m^3$  /小时的流速送入图 1 的分离系统。分离后, 可获得流速为 1029  $N m^3$  /小时, 纯度为 99.99% (体积) 的提纯氢气。即经处理的气体混和物中约 86% 的氢气被恢复为纯净气体。循环时间为 2.4 分钟, 废气以 1.3 公斤/平方厘米 (绝对值) 的压强被释放。

四个吸附塔中的每个直径为 0.7 米, 高为 5.0 米。每个吸附塔上部四分之三填有平均粒径 2.5 毫米的活性碳, 下部四分之一填有平均粒径 1-2 毫米的硅胶。存留塔具有图 4 的结构, 直径 0.95 米, 高 4 米。

#### 实施例 3 :

采用图 1 所示的气体分离系统, 只是包含 6 个吸附塔, 按图 10 的过程进行气体分离。比较图 10 与采用 4 个吸附塔的图 3, 可看出在吸附步骤采用两个吸附塔同时进行吸附。此外, 与另一吸附塔的等压操作从一次增为两次。

待处理的气体混和物组份为 (干燥体积百分比) :

$H_2 : 76.5, CH_4 : 1.6, C_2 H_6 : 4, C_3 H_8 : 2,$   
 $n - C_4 H_{10} : 1, n - \text{及} i - C_5 H_{12} : 0.5$

气体混和物以 2.9 公斤/平方厘米 (绝对值) 的压强及 30 °C 下 4650  $N m^3$  /小时的流速送入该分离系统。分离后, 可获得流速为 3095  $N m^3$  /小时, 纯度为 99.99% (体积) 的提纯氢气。即气体混和物中约 87% 的氢气被恢复为纯净气体。循环时间为 1.3 分钟, 废气以 1.3 公斤/平方厘米 (绝对值) 的压强被释放。

六个吸附塔中的每个直径均为 0.9 米，高为 5.0 米。每个吸附塔上部四分之三填有平均粒径 2.5 毫米的活性炭，下部四分之一填有平均粒径 1—2 毫米的硅胶。存留塔具有图 4 的结构，直径 1.0 米，高 3.8 米。

#### 实施例 4：

采用图 1 所示的气体分离系统，只是包含 8 个吸附塔，基本上按与图 10 的过程相似的过程进行气体分离。与采用 6 个吸附塔的图 10 相比，可看到在吸附步骤用三个吸附塔同时进行吸附。此外，与另一个吸附塔的等压操作由二次增为三次。

待处理的气体混和物组份如下（干燥体积百分比）。

$H_2$  : 76.5,  $CH_4$  : 16,  $C_2H_6$  : 4,  $C_3H_8$  : 2,  $n-C_4H_{10}$  : 1,  $n-$  及  $i-C_5H_{12}$  : 0.5

将气体混和物以 2.9 公斤/平方厘米（绝对值）的压强及 30℃ 下 8611  $Nm^3$ /小时的流速送入分离系统。分离后，可获得纯度至少 99.99%（体积），流速为 5863  $Nm^3$ /小时的提纯氢气。即经处理的混和气体中的约 89% 的氢气被还原成纯净气体。循环时间为 12 分钟，废气以 1.3 公斤/平方厘米（绝对值）的压强被释放。

8 个吸附塔中的每个直径为 1.0 米，高为 4.5 米。每个吸附塔上部四分之三填有平均粒径 2.5 毫米的活性炭，下部四分之一填有平均粒径 1—2 毫米的硅胶。存留塔具有图 4 结构，直径 0.95 米，高 4 米。

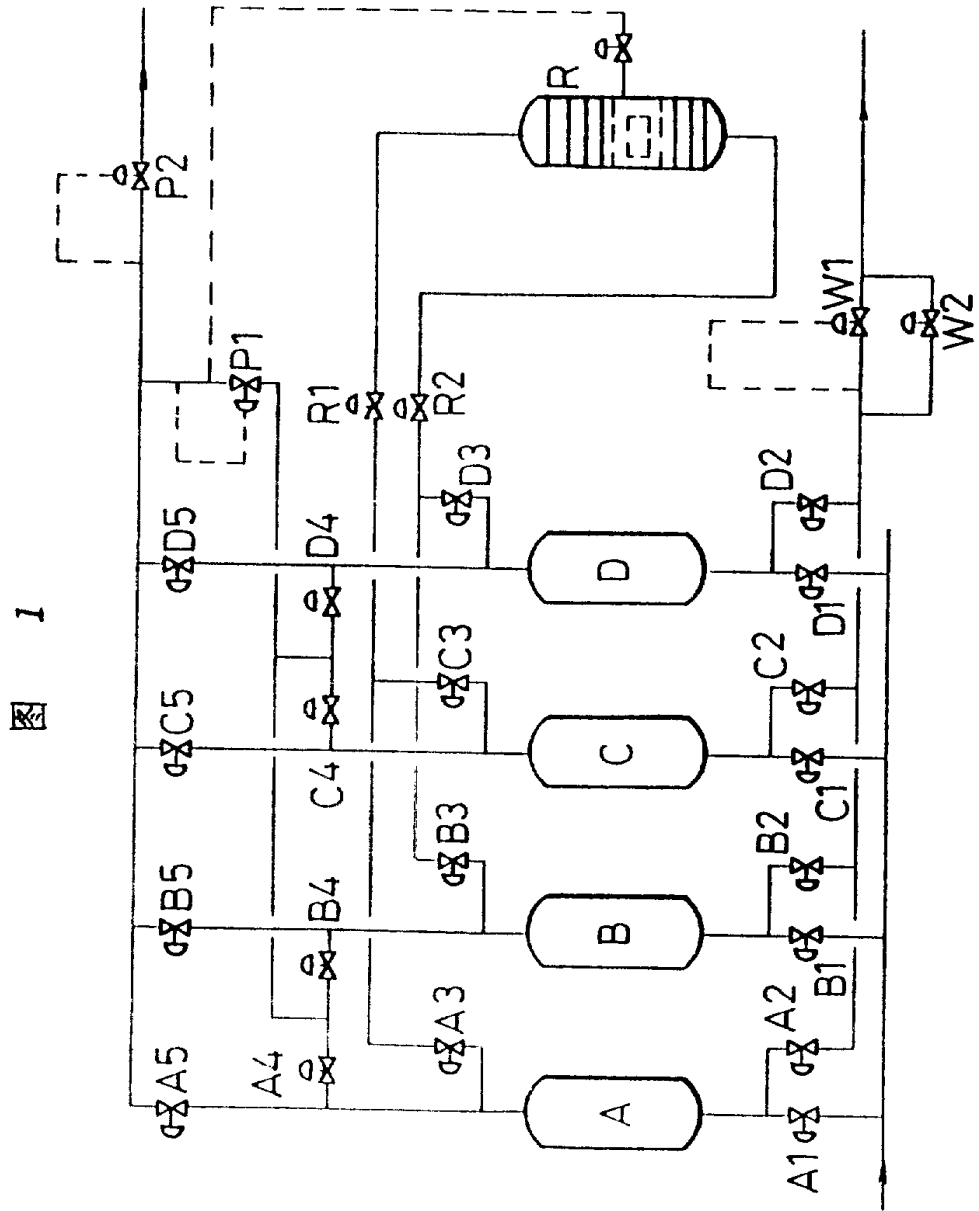


图 1

图 2

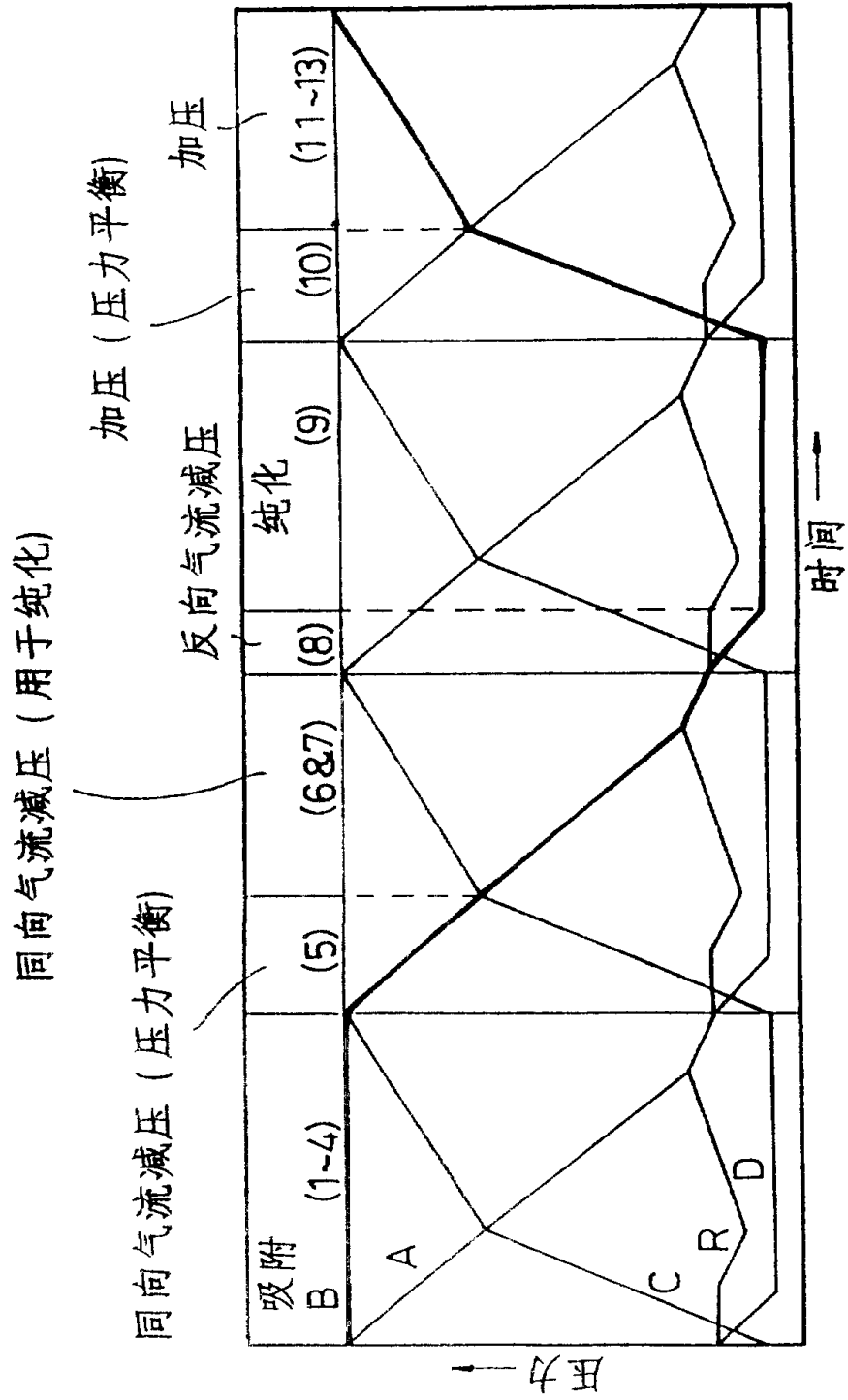


图 3

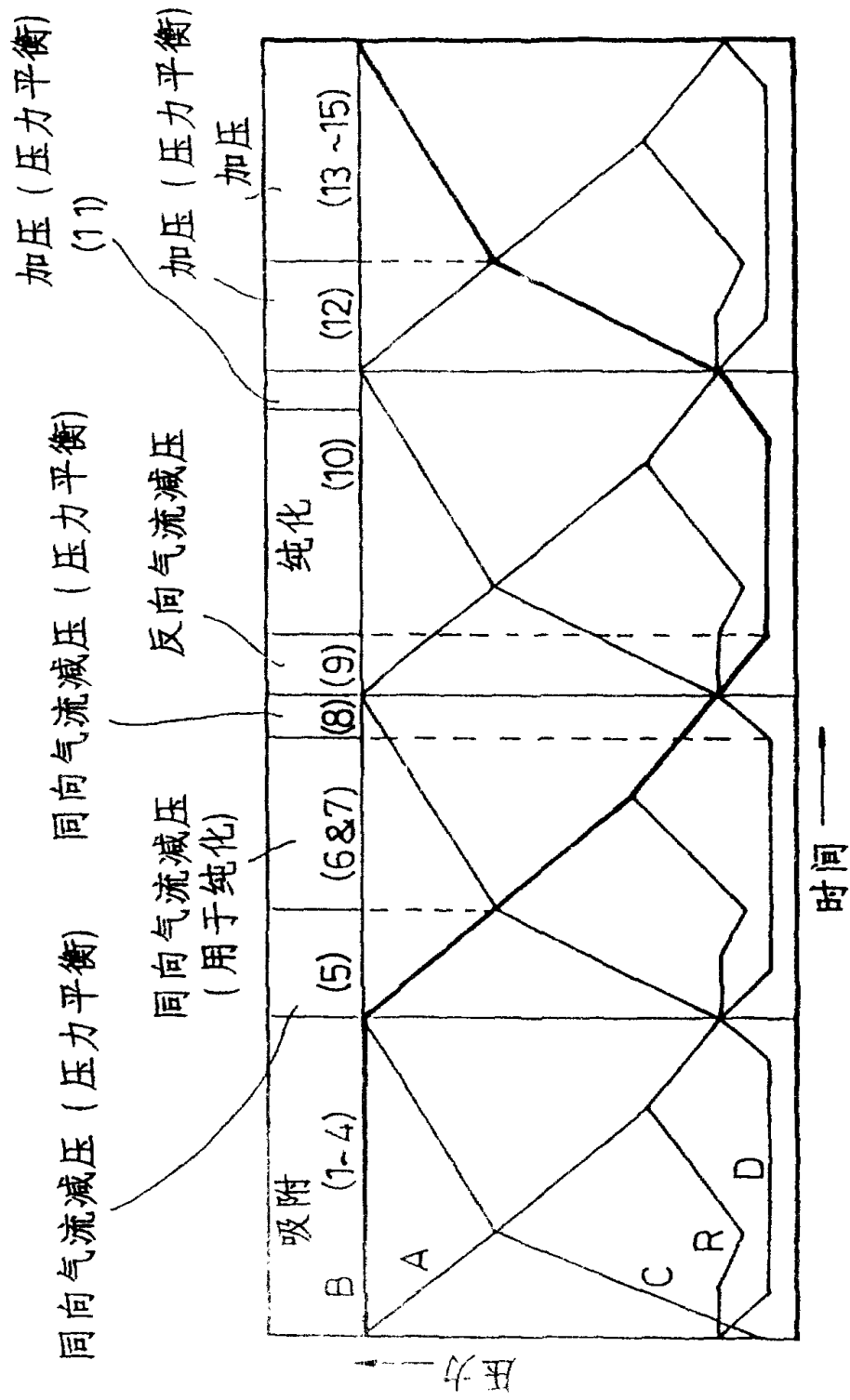


图 4 (a)

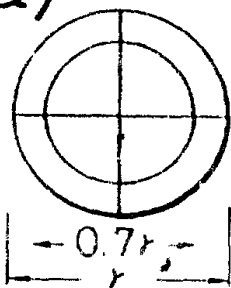


图 4 (b)

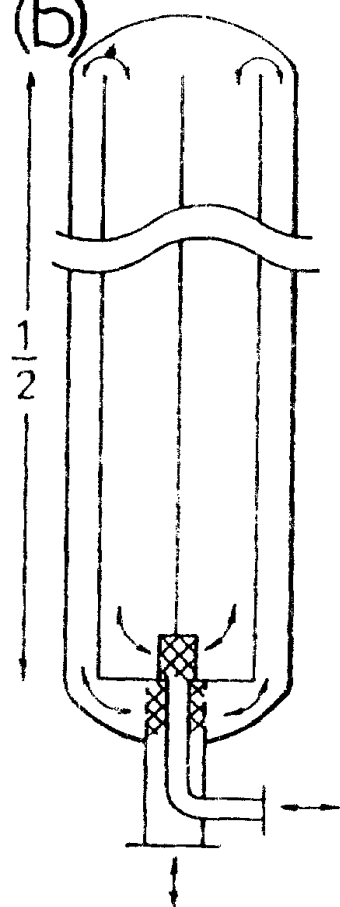


图 4 (c)

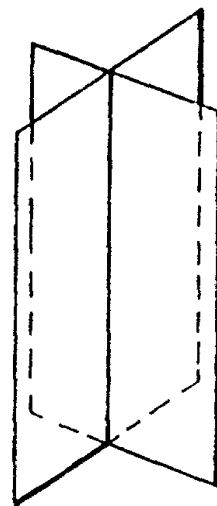


图 5 (b)

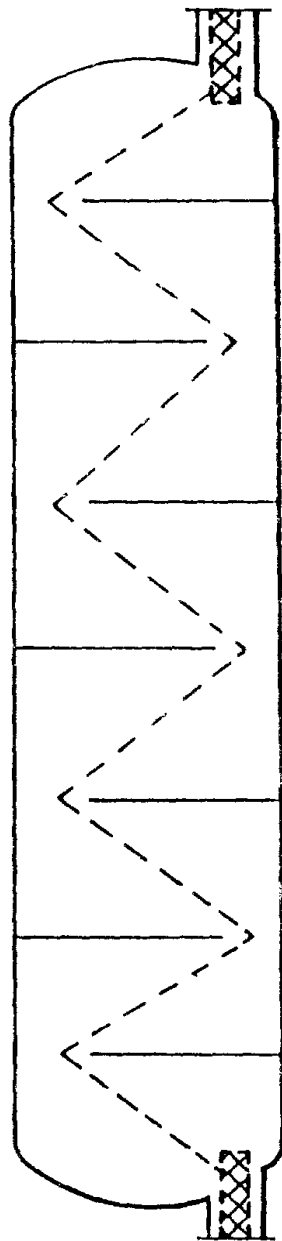


图 5 (a)

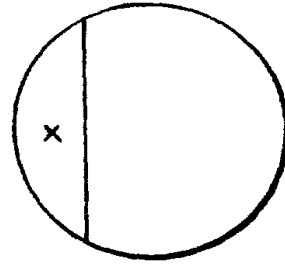


图 6

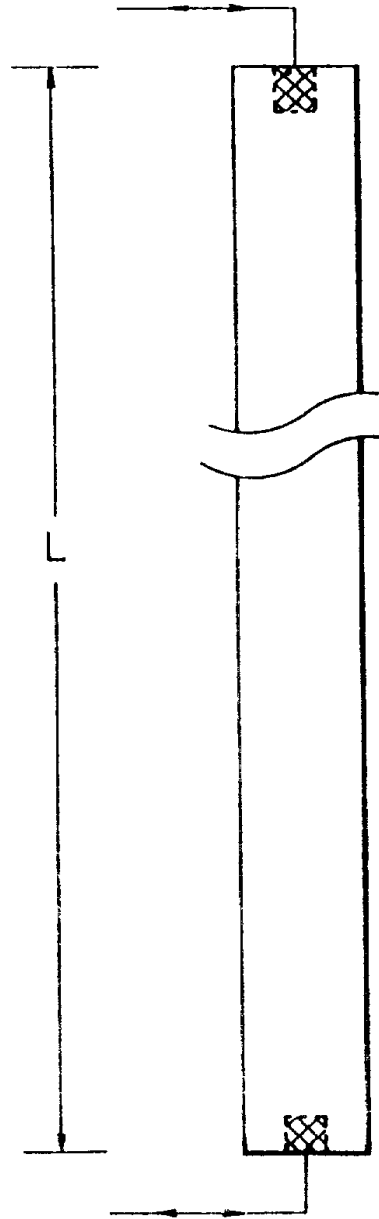


图 7

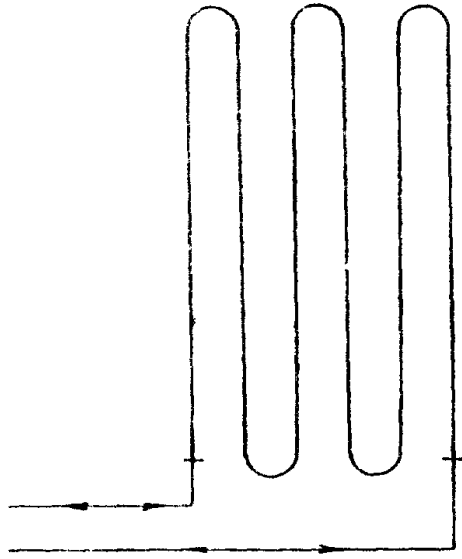


图 8

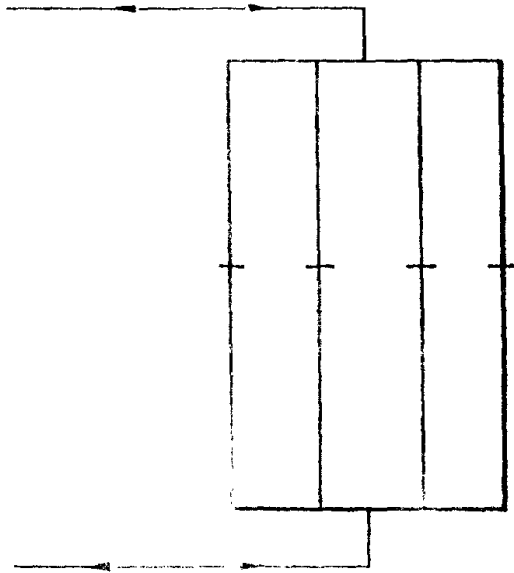
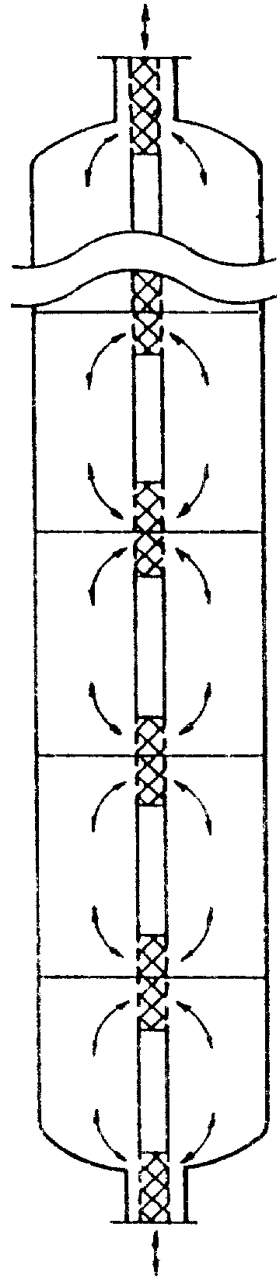


图 9



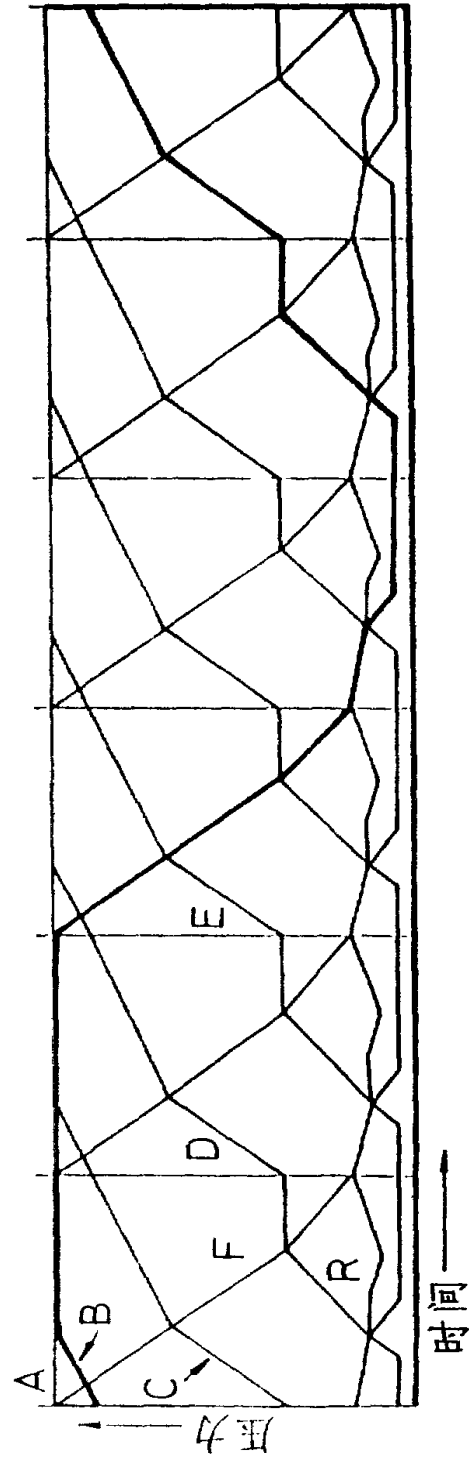


图 10