



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 00104165.7

[45] 授权公告日 2003 年 9 月 17 日

[11] 授权公告号 CN 1121263C

[22] 申请日 2000.3.15 [21] 申请号 00104165.7

[30] 优先权

[32] 1999. 3. 15 [33] US [31] 09/270310

[71] 专利权人 气体产品与化学公司

地址 美国宾夕法尼亚州

[72] 发明人 S·森德 H·C·克洛茨

G·A·梅斯基

[56] 参考文献

CN1080235A 1994.01.05

CN1201404A 1998.12.09

EP0807462A 1997.11.19

US5616289A 1997.04.01

US5730000A 1998.03.24

WO9850752A 1998.11.12

审查员 李广峰

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

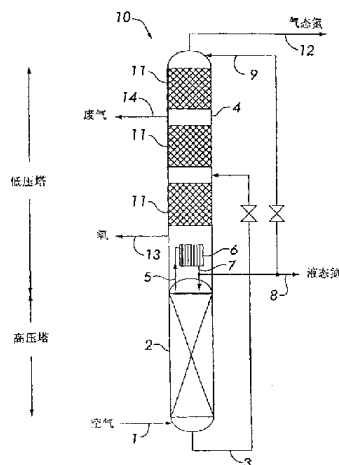
代理人 卢新华 钟守期

权利要求书 2 页 说明书 12 页 附图 4 页

[54] 发明名称 最优波纹规整填料

[57] 摘要

一种规整填料，其表面积密度为约 $500\text{m}^2/\text{m}^3$ 至约 $675\text{m}^2/\text{m}^3$ ，该规整填料包括多块以垂直平行关系设置的波纹板。每块板具有至少一个孔以及多个规则间隔的、基本上平行的波纹，波纹与相邻板上的波纹成十字交叉关系设置。孔的等效直径小于约 4 毫米，但大于约 2 毫米，波纹相对于水平方向的波纹角度(α)在约 40° 至约 60° 之间。每一波纹，当接近基本上为三角形的横截面时，其坡口角度(β) 在约 90° 至约 100° 之间，坡口角度由波纹的两侧所限定。该规整填料用于在例如低温空气分离的过程中在第一相和第二相之间交换质量和/或热量的交换塔。还提供了一种在交换塔内安装规整填料的方法。



1. 一种表面积密度约 $350\text{m}^2/\text{m}^3$ 至约 $800\text{m}^2/\text{m}^3$ 的规整填料, 包括以垂直平行关系设置的多个波纹板, 每块板具有至少一个孔, 以及多个规则间隔的、基本平行的波纹, 波纹设置成与相邻板上的波纹成十字交叉关系, 其中孔的等效直径小于约4毫米, 但大于约2毫米, 波纹相对于水平方向的波纹角度(α)为约 35° 至约 65° , 每个波纹, 当接近具有基本上为三角形的横截面时, 具有为约 80° 至约 110° 的坡口角度(β), 坡口角度由波纹两侧所限定。

2. 一种表面积密度约 $500\text{m}^2/\text{m}^3$ 至约 $675\text{m}^2/\text{m}^3$ 的规整填料, 包括以垂直平行关系设置的多个波纹板, 每块板具有至少一个孔, 以及多个规则间隔的、基本平行的波纹, 波纹设置成与相邻板上的波纹成十字交叉关系, 其中孔的等效直径小于约4毫米, 但大于约2毫米, 波纹相对于水平方向的波纹角度(α)为约 40° 至约 60° , 每个波纹, 当接近具有基本上为三角形的横截面时, 具有为约 90° 至约 100° 的坡口角度(β), 坡口角度由波纹两侧所限定。

3. 权利要求1的规整填料, 进一步包括施于至少一块波纹板的至少一部分表面上的表面纹理。

4. 权利要求3的规整填料, 其中表面纹理是水平条纹。

5. 权利要求3的规整填料, 其中表面纹理是成十字交叉关系的细槽形的双向表面纹理。

6. 权利要求1的规整填料, 其中孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约5%至约20%。

7. 权利要求1的规整填料, 其中孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约8%至约12%。

8. 权利要求2的规整填料, 其中孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约5%至约20%。

9. 权利要求2的规整填料, 其中孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约8%至约12%。

10. 权利要求1的规整填料, 其中波纹的根部半径(r)在约0.1毫米至约3.0毫米的范围内。

11. 权利要求1的规整填料, 其中波纹的根部半径(r)在约0.3毫米至约1.0毫米的范围内。

12. 用于在第一相与第二相之间进行质量和/或热量交换的交换塔, 该交换塔具有至少一种如权利要求1所述的规整填料。

13. 一种低温空气分离方法, 包括使蒸汽与液体在至少一个蒸馏塔中逆流接触, 该蒸馏塔包括至少一个传质区, 其中液-汽接触是采用至少一种权利要求1所述的规整填料来完成的。

14. 在两种液体之间交换质量和/或热量的方法, 包括使所述液体在至少

一个交换塔内接触，其中液-液接触是采用至少一种权利要求1所述的规整填料来完成的。

15. 权利要求14的方法，其中所述液体在交换塔内并流流动。

16. 权利要求14的方法，其中所述液体在交换塔内逆流流动。

17. 一种交换塔内的填料段，包括：

 第一层权利要求1所述的规整填料；和

 位于第一层规整填料下方的第二层权利要求1的规整填料，其中第二层相对第一层旋转一个角度。

18. 权利要求17的填料段，其中角度为约 0° 至约 90° 之间。

最优波纹规整填料

本发明涉及一种波纹规整填料以及在交换塔中安装这种填料以提供最优性能的方法。规整填料在交换塔中具有特殊用途，特别是在低温空气分离过程，尽管也可以用于其它使用规整填料的传热和/或传质过程。

在这里，术语“塔”是指蒸馏或分馏塔或区域，即液相和蒸汽相逆流接触以分离流体混合物的塔或区域，例如，通过蒸汽相和液相在安装在塔内的填料元件或一组垂直间隔的盘或板上接触。

术语“塔段”(或“段”)是指塔中充满塔直径的区域。特定段或区域的顶部或底部分别以液体和蒸汽分布器终止。

术语“填料”是指用作塔的内构件的具有预定尺寸、形状和结构的实心或中空体，用于向液体提供表面积，当两相逆流流动时在液-汽界面上发生传质。两类广义的填料是“乱堆填料”和“规整填料”。

“乱堆填料”是指这样的填料：各个元件相互之间或相对于塔轴没有特定取向。乱堆填料是小而中空的结构，每单位体积具有大的表面积，以无序的方式装入塔中。

“规整填料”是指这样的填料：各个元件相互之间或相对于塔轴具有特定的取向。规整填料通常由薄金属箔、网形铁(expanded metal)或编织金属丝网制成，以层状或作为螺旋形线圈(spiral windings)堆积。

术语“表面积密度”是指单位体积规整填料的表面积，通常以 m^2/m^3 填料占据的体积表示。

在如蒸馏或直接接触冷却的过程中，使用规整填料以促进逆流流动的液体和蒸汽物流之间的传热和传质是有利的。与乱堆填料或塔板相比，规整填料的传热和传质效率高，压降低。与乱堆填料相比，其性能更具可预测性。

空气的低温分离是通过使液体和蒸汽逆流通过蒸馏塔实现的。混合物的蒸汽相上升，其易挥发组分(例如氮)的浓度不断升高，混合物的液体相下降，不易挥发组分(如氧)的浓度不断升高。可以使用各种填料或塔板以使混合物的液相和气相接触，从而实现相间传质。

有许多种低温蒸馏分离空气的方法以将其分离成组分(即氮气、氧气、氩气等)。典型的低温空气分离装置10示意地示如图1。高压进料空气1被输入到高压塔2的底部。在高压塔内，空气被分离成富含氮

的蒸汽和富含氧的液体。富含氧的液体3被从高压塔2输送到低压塔4。富含氮的蒸汽5被通入冷凝器6，在其中被冷凝，而氧在冷凝器中沸腾向低压塔提供再沸蒸汽。富含氮的液体7，一部分以物流8采出，一部分以物流9输送到低压塔作为液体回流。在低压塔中，进料(3, 9)通过低温蒸馏分离成富氧和富氮组分。规整填料11可以用于使要分离的氧和氮的液相和气相进行接触。富氮组分以蒸汽12除去，富氧组分以蒸汽13除去。另外，富氧组分可以从再沸器/冷凝器6周围的塔釜中的一位置以液体除去。废物流14也可以从低压塔中除去。低压塔可被分为多段。例如，在图1中，有三个这样的带规整填料11的段。

最常用的规整填料包括垂直堆放的金属箔或塑料箔的波纹板(或波纹丝网布)。这些箔具有各种形式的孔和/或表面纹理特性以提高传热和传质效率。这种填料的例子公开在US 4296050(Meier)中。在现有技术中，还已知丝网型填料有助于有效地分布液体，并具有良好的传质性能，但与大多数箔型填料相比，丝网型填料更贵。

规整填料的分离性能通常以理论等板高度(HETP)来衡量。术语“HETP”是指达到相当于一块理论塔板所实现的组成变化所需的填料高度。术语“理论塔”是指使排出的蒸汽和液体物流达到平衡的蒸汽和液体的接触过程。对于具体的分离，特定填料的HETP越低，填料的效率越高，因为使用具有该HETP的填料的高度下降。

US 4836836(Bennett等)公开了在低温蒸馏中使用规整填料的情况，与使用蒸馏塔板相比，在能量上是有益的。该专利技术可以用于空气分离设备的所有塔段，尽管用于分离氮气和氧气的塔段是最有效的。

US 5613374(Rohde等)公开了使用表面积密度高于 $1000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 的填料，以优化使用至少一个精馏塔的空气低温分离。可购得的最常用的规整填料的表面积密度为 $125\text{-}750 \text{ m}^2/\text{m}^3$ ，Rohde等认为优选为 $1000\text{-}1500 \text{ m}^2/\text{m}^3$ 。尽管这种高表面积密度的规整填料具有高传质效率、降低蒸馏塔高度的优点，但是，也有几种缺点。首先，表面积的提高导致了填料成本的提高。其次，高表面积密度使压降升高，导致了容量下降，从而大大增加了用于分离的蒸馏塔的直径，使系统的成本进一步增加。最后，塔的直径增大，以及表面积密度的升高，严重地限制了蒸馏塔在停车(turndown)状态下的操作能力，因为在停车过程中没有足够的液体以保持大填料表面积的润湿。使设备停下来同时不降低其效率的能力对现代蒸馏设备是很重要的。

US 5100448(Lockett等)公开了在直径恒定的一个蒸馏塔内使用可变表面积密度的填料。塔内不同段可以处于蒸汽和液体速度方面非常不同的负荷条件下，特别是当塔段之间有蒸汽或液体的采出或输入时更是如此。如果用于所有塔段内的填料的表面积密度都相同，则相对

于每一段的最大容量，塔的负荷是不均匀的。因此，在停车状态下运行设备的能力受到了严重限制。建议的补救措施是改变在塔的不同段内(或在一个段内)填料的表面积密度，同时保持直径恒定，以在塔内获得均匀的负荷。其目的不是优化填料，而是在塔内获得均匀的负荷。此外，如果塔的直径在段之间发生改变，这种情况是经常遇到的，则不必按Lockett等人的说明去做。

US 5419136(McKeigue)公开了一种类似于Lockett等人的技术。McKeigue指出，在恒定直径的塔内填充多段填料会遇到同样的问题，如果在所有段内使用同样的填料，则塔的负荷明显不同。在这种情况下，塔在停车状态下的操作能力将受到限制，这一点与Lockett等人相同。McKeigue的补救措施是在段内和/或一段的后续段内改变“卷曲角度”。[McKeigue定义的术语“卷曲角度”是波纹与垂直方向形成的角度。在本发明中，与申请人的“波纹角度”(α)具有简单的关系，其中波纹角度是相对水平方向度量的。因此，在McKeigue专利中“卷曲角度”等于 $90^\circ - \alpha$ 。] McKeigue的目的是在塔内获得均匀的负荷，不是优化填料。此外，如果塔的直径在不同段之间发生改变，这种情况是经常遇到的，则不必按McKeigue的说明去做。

US 5644932(Dunbobbin等)公开了在蒸馏塔中的两个填料段内使用两种不同的波纹角度和“卷曲角度”(申请人称“坡口(included)角度)，在段间具有不同的蒸汽和液体流量。Dunbobbin等人之后的发展类似于Lockett等和McKeigue所描述的情况，即，设置两段填料，使每段填料的水力负荷容量接近相等。为了这一目的，引入了一个新的无量纲参数“s”，定义为蒸汽-液体界面应力，并且是用液体表面张力除以液膜厚度。参数“s”必须被维持在窄范围内。然而，据称很宽范围的波纹角度和坡口角度能得到窄范围的“s”。

孔已被用于提高规整填料的效率。例如Meier (US 4296050)和Huber (US 4186159)都指出，它们填料元件上的孔的直径约为4 mm。大多数制造商使用具有4-5 mm孔的规整填料。孔占元件或板总表面积的量不超过5-20%。此外，相对于垂直方向，波纹的设置角度为 15° 至 60° ，或相对于水平方向为 30° - 75° (即 $\alpha=30^\circ$ 至 75°)。

US 4950430(Chen等)公开了使用1-2 mm的孔，为了相对于Meier和Huber提高效率，在孔的间距上有限制。例如，孔间距不超过5 mm，孔占元件或板总表面积的量不超过20%。在其优选的形式中，孔是圆孔，但非圆孔也可以使用，包括卵形孔、长方形孔、椭圆形孔以及三角形孔、矩形孔、窄缝形孔等。

US 5730000(Sunder等)和5876638(Sunder等)公开了一种波纹规整填料元件，优选具有多个贯通元件的孔。元件的开孔面积占元件总面

积的5-20%，优选为8-12%。元件的表面积密度优选为250-1500 m^2/m^3 ，特别优选为500-1000 m^2/m^3 。孔是圆形的，其直径为1-5mm，优选为2-4mm。此外，填料上的孔可以是非圆形的，但其“等效直径”（表面积乘以4除以周长的计算值）要在所述圆形孔的直径范围内。波纹角度(α)在20-70°的范围内，优选30°-60°，特别优选45°。这些专利指出使用细凹槽形式的双向表面纹理，凹槽以交叉关系施于填料元件上的波纹表面上。

PCT/EP 93/00622(WO 93/19335)(Kreis)公开了一种波纹规整填料，其表面积密度在350-750 m^2/m^3 范围内，在某些应用中，表面积密度高达1200 m^2/m^3 或更高。波纹元件上的孔可以是洞、缝或槽。孔占元件或板总表面积的5-40%，优选15-20%。

不同的表面纹理也已用于提高规整填料的效率。例如，US 5454988 (Maeda)公开了一种填料元件，该元件具有在薄片状基材的表面上形成的连续、相邻接的、蜿蜒的凹/凸通道。现有技术中公开了多种表面纹理的其它例子，如EP 0337150A1(Lockett)。

与现有技术不同，本发明的目的是通过同时改变多个独立参数(例如，至少四个参数)优化蒸馏设备的填料段，以减小系统的总成本，而不拘泥于如高度或负荷的单个标准。

需要一种规整填料，它具有用于低温应用的高性能特征，如用于空气分离，以及其它传热和/或传质应用。

进一步需要一种波纹型规整填料，它在低温蒸馏中是最优的，特别是用于分离和纯化空气组分-如氧气、氮气和氩气。

更进一步需要一种波纹型规整填料，它能克服现有技术中的许多困难和缺点，提供更好和更有利的结果。

更进一步需要一种最优的规整填料设计，它以最优方式操作，使空气分离方法更加有效和/或单位量所生产产品的成本更低。

更进一步需要一种更有效的空气分离方法，它使用最优的规整填料，这种填料与现有技术相比，更加紧凑和有效。

进一步需要一种在交换塔中安装规整填料的方法，该方法与现有技术相比提供了更好的性能，并且该方法还克服了现有技术中的许多困难和缺点，以提供更好和更有利的结果。

本发明是一种最优的规整填料，它可以用于在一种方法，如低温空气分离中的第一相和第二相之间进行传热和/或传质的交换塔的一段或多段中。本发明还涉及一种在交换塔中安装这种填料以提供最优性能的方法。此外，本发明还包括其中汽-液接触或液-液接触是由至少一种本发明所述类型的规整填料来完成的方法。

在一个方案中，规整填料的表面积密度为约350 m^2/m^3 至约800 m^2/m^3 ，并包括以垂直平行关系设置的多个波纹板。每块板具有至少

一个孔，以及多个规则间隔的、基本平行设置的波纹，波纹与相邻板上的波纹成十字交叉关系。孔的等效直径小于约4毫米，但大于约2毫米。波纹相对于水平方向的波纹角度(α)为约35°至约65°。每个波纹，当接近具有大致为三角形的横截面时，具有坡口角度(β)为约80°至约110°，坡口角度由波纹两侧限定。

在一种变例中，规整填料还包括施于至少一块波纹板的至少一部分表面上的表面纹理。表面纹理可以是水平条纹方式的。另外，表面纹理可以是成十字交叉关系的细槽形双向表面纹理。

在另一变例中，孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约5%至约20%。优选地，孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约8%至约12%。

在再一变例中，波纹的根部(root)半径(r)在约0.1毫米至约3.0毫米的范围内。优选地，波纹的根部半径在约0.3毫米至约1.0毫米的范围内。

在另一方案中，规整填料的表面积密度在约500 m^2/m^3 到675 m^2/m^3 范围内，并包括多块成垂直平行关系设置的波纹板。每块板有至少一个孔，以及多个规则间隔的、基本平行的波纹，波纹与相邻板上的波纹成十字交叉关系设置。孔的等效直径小于约4毫米，但大于约2毫米。波纹相对于水平方向的波纹角度(α)在约40°至约60°之间。每一波纹，当基本上呈三角形横截面时，其坡口角度(β)在约90°至约100°之间，坡口角度由波纹的两侧所限定。

在一种变例中，规整填料还包括施于至少一块波纹板的至少一部分表面上的表面纹理。表面纹理可以是水平条纹方式的。另外，表面纹理可以是成十字交叉关系的细槽形的双方表面纹理。

在另一变例中，孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约5%至约20%。优选地，孔在每块板上产生的开孔面积占板总面积的约8%至约12%。

在再一变例中，波纹的根部(root)半径(r)在约0.1毫米至约3.0毫米的范围内。优选地，根部半径在约0.3毫米至约1.0毫米的范围内。

另一方面，本发明是一种用于在第一相和第二相之间进行传热和/或传质的交换塔，交换塔具有至少一种如上所述的任何一种方案或变例的规整填料。

本发明的再一方面是一种低温空气分离方法，包括使蒸汽和液体在至少一个含有至少一个传质区的蒸馏塔中进行逆流接触，其中液-汽接触是在至少一种如上所述的任何一种方案或变例的规整填料上进行的。

本发明的另一方面是在两种液体之间进行质量和/或热量交换的

方法，包括使所述液体在至少一个交换塔中接触，其中液-液接触是在至少一种如上所述的任何一种方案或变例的规整填料上进行的。在本发明这一方面的一个变例中，液体在交换塔内是并流的。在另一变例中，液体在交换塔内是逆流的。

本发明的另一方面是一种交换塔内的填料段，包括：第一层规整填料；位于第一层规整填料下方的第二层规整填料，其中第二层相对于第一层旋转一个角度。第一层和第二层中的规整填料可以是如上所述的任何一种方案或变例的规整填料。在本发明这一方面的一个变例中，角度在约 0° 至 90° 之间。

本发明还包括一种在交换塔内安装规整填料的多步骤方法。第一步是提供一个交换塔。第二步是提供一种表面积密度为约 $350\text{m}^2/\text{m}^3$ 至约 $800\text{m}^2/\text{m}^3$ 的规整填料，该规整填料包括多块以垂直平行关系设置的波纹板，每块板具有至少一个孔以及多个规则间隔的、基本上平行的波纹，波纹与相邻板上的波纹成十字交叉关系设置，其中孔的等效直径小于约4毫米，但大于约2毫米，波纹相对于水平方向的波纹角度(α)在约 35° 至约 65° 之间，每一波纹，当基本上呈三角形横截面时，其坡口角度(β)在约 80° 至约 110° 之间，坡口角度由波纹的两侧所限定。最后一步是在交换塔内安装规整填料。

安装方法的另一方案类似于上面描述的方法，除了第二步使用上述第二方案(“另一方案”)中所述的规整填料，而不是第一方案(“一种方案”)中的规整填料。

下面将参照附图通过实施例来描述本发明，其中：

图1是空气分离设备的示意图；

图2是传统规整填料元件的透视图；

图2A是沿图2中线2A-2A的元件剖视图；

图3是描述传统规整填料中相邻元件成十字设置的示意图。；

图4是描述在填料塔中使用壁刮(wiper)的示意图；

图5A是在沿图5B中线5A-5A截面的一定高度上的规整填料砖设置的平面示意图；

图5B是在蒸馏塔的段中蒸汽和液体分布器之间的多层规整填料的设置高度示意图；

图6是描述本发明规整填料与市场上购得的规整填料的性能比较曲线，是在图中所注释条件下，以理论塔板高度(HETP)与蒸汽速度(K_V)的关系表示；

图7是描述本发明规整填料与市场上购得的规整填料的另一个性能比较的曲线，是在图中所注释条件下，以压降(dP/ft)与蒸汽速度(K_V)的关系表示。

分离如空气的混合物的低温方法的成本取决于所用接触装置的效率。蒸馏塔板已用了八十年以上，在最近的十五年中，引入了规整填料，并且其应用呈上升趋势，这是因为它具有相对于塔板来说压降低得多的优点。尽管在这段时间内，可以利用各种类型的填料，但许多可以从市场上购得的填料不是最优的，因为这些塔板是开发用来分离具有不同物理和传递性质的烃类混合物的。

使用规整填料的传统技术描述在各种涉及规整填料的专利中，如US 4296050(Meier)公开了波纹规整填料及其应用。基础的传统规整填料元件20如图2所示。每一填料元件由薄金属箔或其它合适的波纹材料制成。填充了传统规整填料的蒸馏塔40如图5A和5B所示。

典型的规整填料使用如图2所示的垂直取向波纹填料片或元件20，其中波纹与水平方向以一定角度(α)排列。每一元件都这样设置：相邻填料片上的波纹方向相反，如图3所示。(实线表示一个填料元件上的波纹，虚线表示相邻填料片上的波纹)。当垂直放置用在蒸馏塔中时，波纹与水平方向成一定角度(α)。除形成波纹外，元件或片上可以有表面纹理30(如横向或水平条纹)、洞或孔28、凹坑、槽、或能增强基本元件20性能的其它特征。如剖视图2A所示，波纹形成波状。波纹的两个交替的斜侧形成一夹角(β)，称之为“坡口角度”。尽管在折上存在有限的曲率半径(“根部半径”)(r)，波纹的波接近三角形是最常用的，这一点如图2A所示。根部半径(r)在0.1至3.0毫米之间是优选的，特别优选的根部半径是0.3至1.0毫米。

使用最基本的填料元件20，通过组装元件形成规整填料“砖”24(通常是每块砖有约40至50个元件)，因此，相邻元件上的波纹以十字交叉方式排列，如图3所示。(用于固定元件的装置未示出)。当砖24放置在圆柱形塔22内时，靠近壁的砖边缘粗糙并有缺口，产生缝隙。为了减少液体旁路，通常使用图4所示的壁刮26。

如图5A和5B所示，规整填料砖24通常在蒸馏塔40的塔段上组装成层(48, 48')。图5A是平面图，以在图5B的5A-5A剖面来表示约十二块砖24在一定高度上的设置。图5B示出了规整填料塔40整体设置的高度示意图，在液体分布器44和蒸汽分布器46之间的一个塔段上，该塔具有多个层(48, 48')，其中后续的填料层(48, 48')(每层约8英寸高)旋转，相互之间成直角(好90°)。这是最常见的设置，但是也可以使用其它放置方式(例如，后续层旋转角度为约0°至约90°)。

本发明通过同时改变至少四个限定波纹规整填料的几何结构和性能的参数进行，不同于现有技术中所指出的一次改变一个物理参数或计算参数。本发明中改变的参数是表面积密度(A)、波纹角度(α)、坡口角度(β)、孔径(等效直径)，以及表面增强特征，如孔间距和表面纹

理。而在现有技术中单独讨论这些特征时，没有认识到或说明坡口角度 β 的重要性(除在Dunbobbin等的专利中通过参数“s”调整负荷的间接方法外)。事实上，在现有技术中通常是调整A和 α 来计算规整填料的传质和压降特征，而没有特别考虑坡口角度 β 的作用，在本发明中，这是一关键参数。

此外，上面确定的这些参数的范围对优化本发明规整填料是令人惊讶和意外的。这是因为结合这些参数的效果是复杂并且没有完全预见的。因为在这些参数之间有着强的相互作用，它们决定了蒸汽和液体的流动特征，从而决定了规整填料的最终性能。本发明的令人惊讶和意外的结果是通过大量的实验工作和理论模拟工作才确定的。

对于低温应用，按照本发明，坡口角度 β 的最优范围大于90度。这是特别令人惊讶的，因为大多数用于低温空气分离的市售填料的坡口角度 β 都小于90度。此外，与Rohde等人所说明的相反，最优表面积密度远小于 $1000-1500\text{m}^2/\text{m}^3$ 。所以，通过本发明可以大量节约材料成本。

按照本发明，当上面确定的四个参数在如下范围内时，通过使用具有表面增强特征—如孔和表面纹理—的波纹填料，可以获得低温应用中的最优性能。对于表面积密度(A)，优选范围是 $350-800\text{m}^2/\text{m}^3$ ，最优选的范围是 $500-675\text{m}^2/\text{m}^3$ 。对于波纹角度(α)，优选的范围是35-65度，最优选的范围是40-60度。对于坡口角度(β)，优选的范围是80-110度，最优选的范围是90-100度。对于孔，优选的等效直径大于2毫米，但小于4毫米。(等效直径以四乘以孔面积除以孔的周长来计算)。在优选的方案中，孔是圆形的。但也可以使用各种形状的孔，包括但不限于卵形、长方形、椭圆形孔、泪滴形孔、窄缝形孔、三角形孔、矩形孔，以及其它多边形孔。

与现有技术所指出的有限方法相比，本发明可以以许多不同的方式应用，以使蒸馏分离和纯化系统的总成本最低。这是通过在上面提出的优选范围内改变四个独立参数实现的。例如，可以使蒸馏塔的高度最小、或限制其最大直径、或使其体积和/或重量最小。当获得如Lockett等人和McKeigue所指出的含有多个填料段的恒定直径的塔不是本发明的特定目的时，这些结果可以通过同时改变至少四个上面讨论的参数来获得。本领域中的技术人员可以认识到本发明也可用于其它应用，如提取或吸收。

此外，当试图使蒸馏塔系统的成本最小时，应当考虑其制造成本。因此，有利地是改变所有四个参数，或者保持几个参数不变，而仅改变一个或二个或三个参数。例如，在所有参数处于恒定值时，可以生产所有填料。另外，改变一个参数，如表面积密度A或波纹角度

α ，同时保持其它参数不变，可以生产不同的填料。此外，对于每个蒸馏塔段，还可以变化四个参数，即表面积密度A、波纹角度 α 、坡口角度 β 和孔径(等效直径)，同时保持表面纹理不变。在优化性能时，还可以改进表面纹理以提高总的适应性。

通过本发明所得到的结果是令人惊讶和意外的，在优选范围内结合四个参数能导致比现有技术更优的解决方案。正如下面讨论的实施例所指出，所得到的结果是：(1)传质和每个理论级的压降改进了15%，对生产能力没有任何影响；(2)在维持填料段的总高度和直径不变，保持传质和压降性能在同一水平的同时，材料成本节约了35%。这些改进的数量级(即性能提高15%和材料成本节约35%)是令人惊讶和意外的。本领域的技术人员也许能预见到在性能上有些许改进和/或在材料成本上有些许节约(几个百分点)，但本发明所得到的结果远远超出了这些预见。换句话说，就是本领域技术人员所预见到的东西远少于本发明实际上得到的结果。

下面讨论的实施例用于说明本发明的可能的应用。其它一些实施例是本领域技术人员可以预见的。实施例1说明本发明填料的性能超过了“Mellapak 500Y”填料，这种填料是用于空气分离工业的最主要规整填料。(“Mellapak 500Y”是Sulzer Chemtech的商品名)。基于实验室的结果，传质和每个理论级的压降提高了15%，对生产能力没有任何影响。

实施例2说明了按本发明所说范围外侧设计的规整填料与按本发明优化的规整填料的比较结果。该实施例说明了在被优化的填料的优选范围外侧的高表面积密度填料的性能与本发明所说的优选范围内侧的填料性能比较的意外结果。该实施例表明，在维持了填料段的部高度和直径不变，保持传质和压降性能在同一水平的同时，材料成本节约了35%。该实施例还表明，相对于现有技术中Rohde等人所说明的(用于低温空气分离的规整填料的最优表面积密度远高于现有技术)，本发明具有意想不到的效果。Rohde等人指出表面积密度高于 $1000\text{m}^2/\text{m}^3$ 是最优的，而现有技术填料在 $125\text{-}700\text{m}^2/\text{m}^3$ 之间。Rohde等人还指出如果低压塔为 $1000\text{m}^2/\text{m}^3$ ，特别是 $750\text{m}^2/\text{m}^3$ ，则氮气塔可以是 $700\text{-}900\text{m}^2/\text{m}^3$ ，特别 $750\text{m}^2/\text{m}^3$ 。与此相反，本发明证明，表面积为 $800\text{m}^2/\text{m}^3$ 的填料在最优范围之外，最优范围仅 $520\text{m}^2/\text{m}^3$ ，很明显，本发明得到了令人意外的效果。

实施例1

图6和下表说明，与Mellapak 500Y相比，如何按本发明的说明同时改变四个参数以得到用于低温空气分离的最优规整填料，Mellapak 500Y是工业上最常用的规整填料。低温试验在实验室蒸馏塔中进

行。有8层填料，其直径和高度都接近8英寸，在塔内一层在另一层的上方，其中后续层相对旋转90°。所有填料段的直径约8英寸，总高度约65英寸。塔用于在30psia的压力和全回流的条件下分离氩-氧双组分混合物。使得塔内的液汽流量比，即L/V比率，等于1。在不同流动条件下达到稳定状态后，对每种填料如下进行数据简化。由塔顶和塔底的混合物组成计算出所获得的总分离效果。这些数据被转化为所获得的理论级数。由于所使用的总高度为65英寸，可获得理论塔板高度(HETP)的值。这一数据是相对蒸汽速度 K_V 提出的，其定义如下：

$$K_V = U_V[\rho_V/(\rho_l - \rho_V)]^{0.5}$$

其中， U_V = 填料段内蒸汽相的空塔速度

ρ_V = 蒸汽相的密度

ρ_l = 液体相的密度

如图6和下表所示，在维持每英尺填料的压降相同的条件下，在0.14-0.22英尺/秒的宽操作范围的 K_V 下，本发明填料在传质性能上提高了15%(降低HETP)。如果应用到工业蒸馏塔上，这将导致在传质和每个理论级的压降上改进15%，同时维持塔的生产能力。换一种说法，这意味着使用与现有技术相同的直径时，本发明的填料段只需要85%的高度。在此同时，填料段的压降相应减少15%，因为所使用的高度与现有技术相比下降了。填料之间力学上的差别(以及类似性)如下所述。四种参数以令人意外的方式结合，与现有技术相比，产生了15%的改进。

填料类型	Mellapak 500Y	本发明
表面积密度, m^2/m^3	500	635
波纹角度 α , 度	48	57
坡口角度 β , 度	75	97
孔径, mm	4	2.4
开孔面积, %	10	10
表面纹理	横向条纹	横向条纹
相对生产能力	1.0	1.0
相对dP/ft	1.0	1.0
相对dP/级	1.0	0.85
相对HETP	1.0	0.85

实施例2

本实施例说明了另一令人惊讶和意外的结果。如前面所述，Rohde等人指出，对于用于低温空气分离的规整填料高表面积密度是最优的。申请人已发现，高表面积密度的填料与表面积密度低得多的填料在性能是相当的，在大大节约材料的基础上不会损害性能。基于在实施例1所述的蒸馏塔体系中所进行的大量试验，得出了下表所示的评价。

在18 psia的压力和0.175英尺/秒的 K_v 下，比较两种填料在分离氩/氧双组分混合物时的性能。现有技术填料被认为在本发明所说的优选范围的极限上，因此，选择最高表面积密度为 $800\text{m}^2/\text{m}^3$ 。为了使合理的压降为每英尺0.32英寸水柱，还选择最大波纹角度(α)为65度，最小坡口角度(β)为80度。现有技术的填料具有4毫米的孔，开孔面积为10%。按照本发明，通过使用表面积密度仅为 $520\text{m}^2/\text{m}^3$ 、其它参数如下表所示的填料，其性能是相当的。两个具有相同直径和高度的包括这两种填料并在这些条件下操作的蒸馏塔产生相同的传质和压降结果。但因为金属使用量减少了35%，大大降低了填料段的重量和整个系统的成本。这是非常意外的结果。此外，高表面积密度的填料的停车能力十分低下，这是已知的，对于当前的空气分离设备来说，良好的停车能力是一个重要的要求。除前面所述的重量和成本优点外，如本发明所指出的，有比例的使用较低的表面积密度，能大大改进停车能力。

填料类型	现有技术	本发明
表面积密度, m^2/m^3	800	520
波纹角度 α , 度	65	46
坡口角度 β , 度	80	93
孔径, mm	4	2.4
开孔面积, %	10	10
表面纹理	横向条纹	横向条纹
HETP, 英寸	5.80	5.80
dP/ft, 英寸水柱	0.32	0.32

进一步说，如果现有技术的实施例用95度的坡口角度(β)取代80度，即从本发明优选范围的边缘向其范围的中部移动，仍然可以找到

表面积密度仅为 $600\text{m}^2/\text{m}^3$ 的等效填料，相对于现有技术，它仍然是一种很大的节约，并保持了大部分停车优点。

上述实施例还说明了使用具有在本发明优选范围内的参数的波纹规整填料的效果。这些实施例不是排它或限制性的。尽管这些实施例涉及接近常压的氮/氧分离，但是本发明可以用于在宽压力范围内操作的所有低温系统。本发明在空气分离设备的所有蒸馏塔段中特别有用。这包括但不限于所谓的高压塔、低压塔、粗氮塔和纯氮塔。

这些概念的其它变动和延伸对本领域技术人员来说是显而易见的。例如，变动包括提取和吸收。这一技术可以用于任何蒸汽(或气相)与液体逆流接触的传热和传质交换塔。本发明也不限于蒸馏或低温蒸馏应用。

本发明的各种方案已特别参照上述实施例进行了描述。然而，应当理解，在不脱离本发明和所附权利要求书的精神和范围的前提下，可以对这些方案和实施例进行变动和改进。

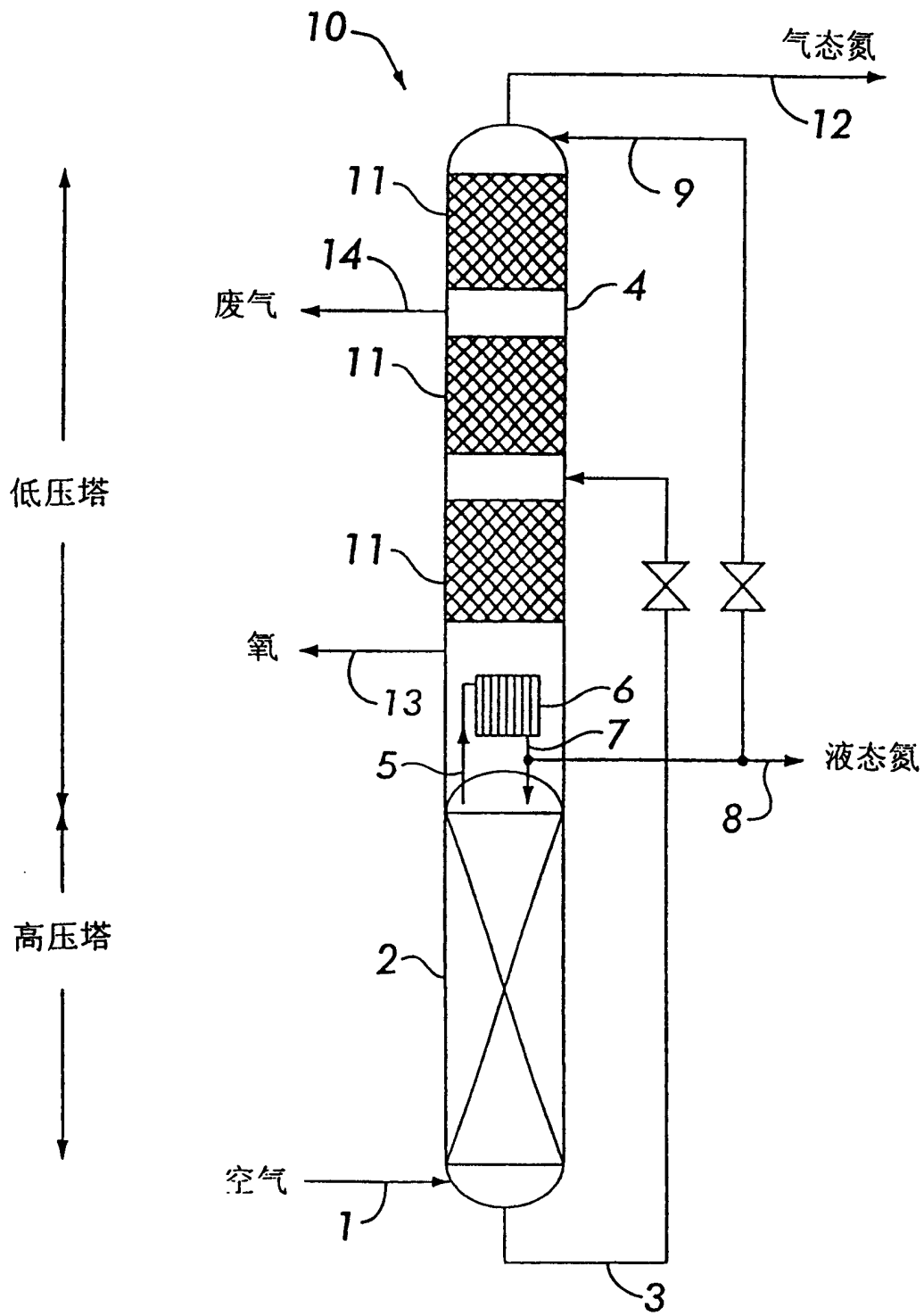


图1

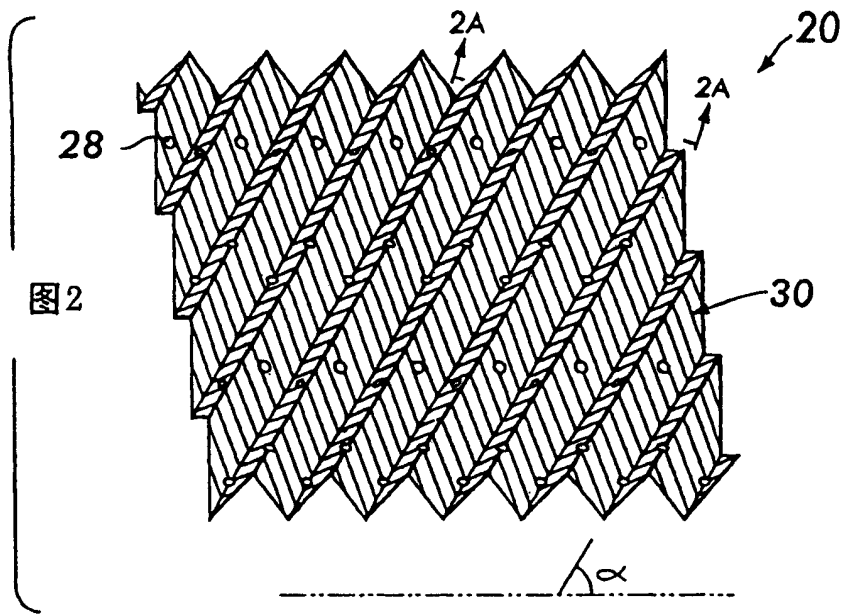


图 2



图 2A

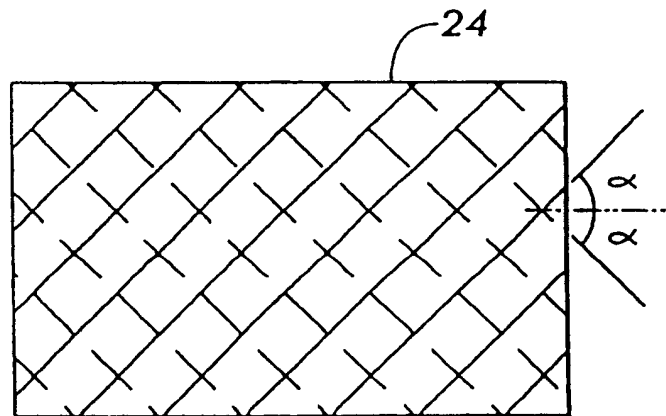


图 3

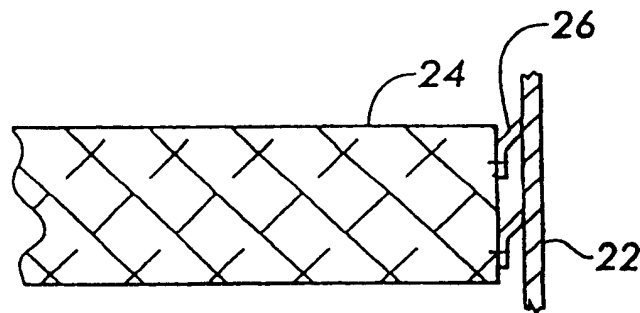
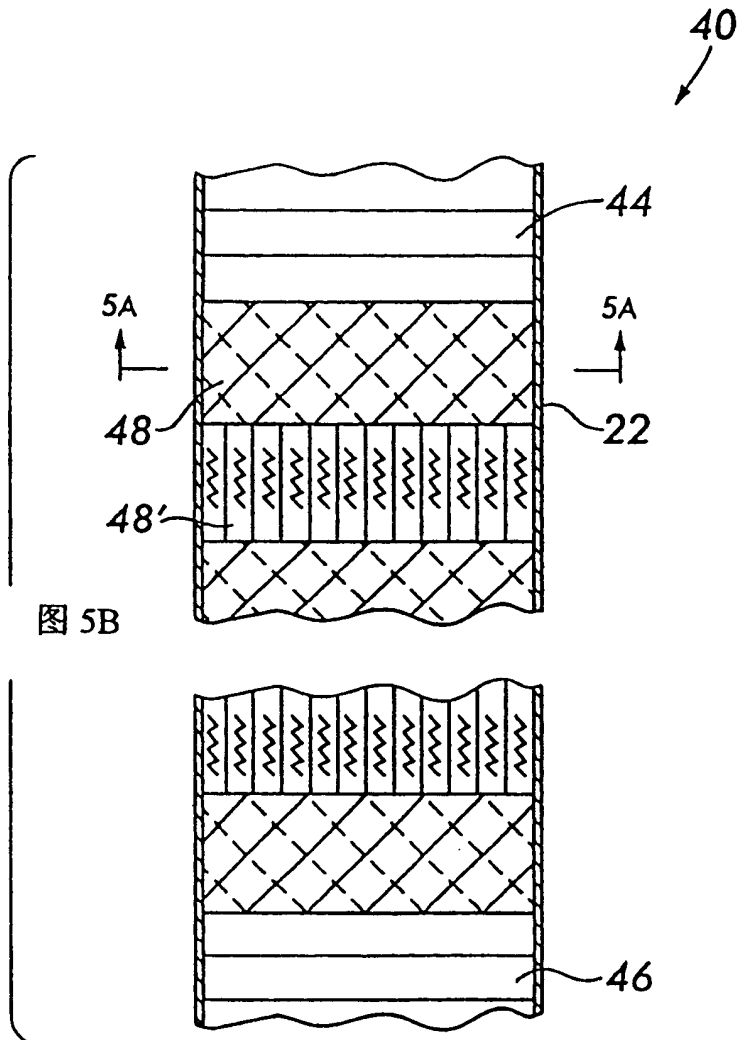
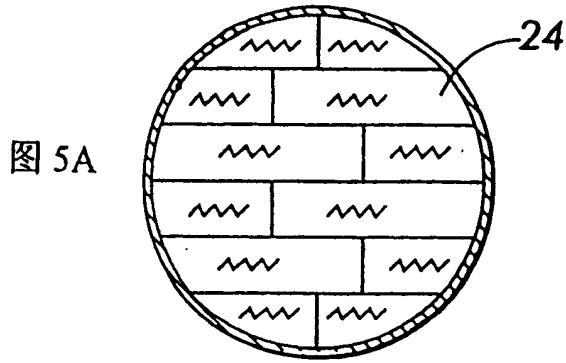


图 4



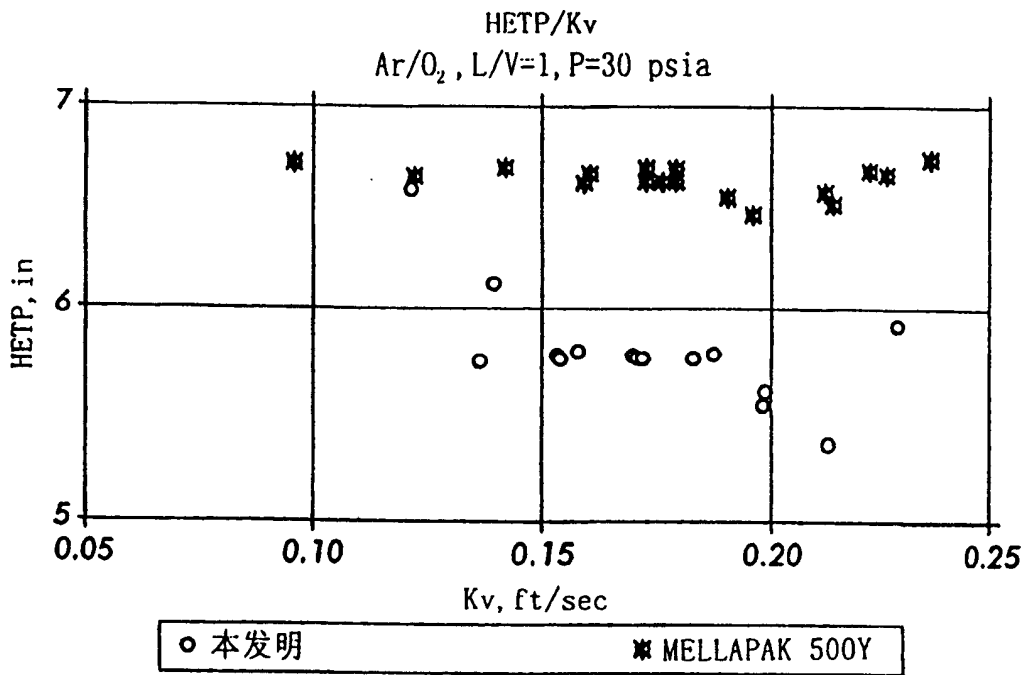


图 6

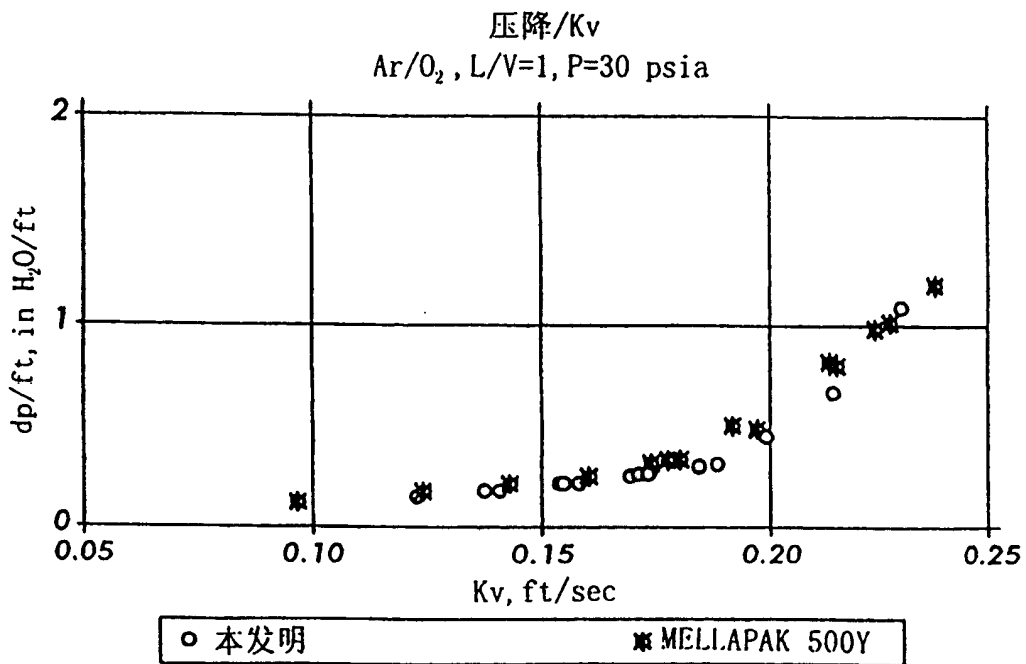


图 7