

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

E21B 43/40 (2006.01)

B01D 45/16 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 99815955.7

[45] 授权公告日 2006年10月18日

[11] 授权公告号 CN 1280522C

[22] 申请日 1999.12.29 [21] 申请号 99815955.7

[30] 优先权

[32] 1998.12.31 [33] US [31] 09/223,885

[32] 1998.12.31 [33] US [31] 09/223,887

[86] 国际申请 PCT/EP1999/010497 1999.12.29

[87] 国际公布 WO2000/040835 英 2000.7.13

[85] 进入国家阶段日期 2001.7.31

[71] 专利权人 国际壳牌研究有限公司

地址 荷兰海牙

[72] 发明人 科内利斯·A·谢恩克·威林克

安德烈·O·H·范贝洛

审查员 韩树刚

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利  
商标事务所

代理人 孙征

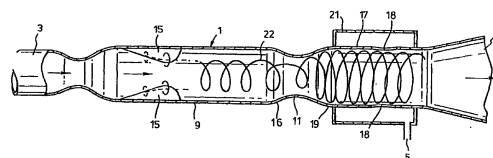
权利要求书 2 页 说明书 14 页 附图 6 页

## [54] 发明名称

用于从天然气流中除去凝结物的方法及完井装置

## [57] 摘要

一种用于在与地下岩层相连接的井口节气门之上游从天然气流中除去凝结物的方法，该方法包括以下步骤：(A)使天然气流以超音速流过一根导管，从而使其冷却到一个低于凝结物开始冷凝并形成独立的液滴和/或颗粒的温度的温度；(B)将液滴和/或颗粒从气体中分离出来；(C)将已除去凝结物的气体收集起来；(D)将气体和/或凝结物运送到井口和/或将其再次注入产出这些气体的地层中，或将其注入到不同的地层中，而且并非所有已收集到的气体和凝结物都被再次注入到同一地层的同一储气区域内。



1. 一种方法，用于在与地下岩层相连接的井口节气门之上游使用一井下超音速惯性分离器从天然气流中除去凝结物，在所述井下超音速惯性分离器内，液滴和/或颗粒从气体中分离出来，而且将已除掉凝结物的气体收集在一起，其特征在于该方法还包括以下步骤：

(A) 使天然气流以超音速流过一个超音速惯性分离器，该超音速惯性分离器包括一根导管(1, 23, 314)，所述导管设置有一加速部分(3, 25, 312)，气流在所述加速部分内被加速到超音速，从而使其冷却到这样一个温度，该温度低于凝结物开始冷凝并形成独立的液滴和/或颗粒的温度；

(B) 将气体和/或已冷凝的凝结物运送至一井口(505, 552)和/或将其再次注入到产出上述气体的地层(301, 603, 704)中，或将其注入到不同的地层(710)中，而且并非所有已收集到的气体和凝结物都被再次注入到同一地层(301, 603, 704)的同一储积区内。

2. 根据权利要求1所述的方法，其特征在于：在一个涡旋发生部分(15, 41, 313, 409)中，超音速流体流产生涡旋运动，从而使液体的液滴在气流中流向收集区域的径向外外部，接着将亚音速或超音速的液体从收集区域(11, 37, 318)的径向外外部收集到出口气流中。

3. 根据权利要求2所述的方法，其特征在于：超音速流体流所产生的涡旋运动使凝结物在气流中流向收集区域(11, 37, 318)的径向外外部，接着将亚音速或超音速的凝结物从收集区域(11, 37, 318)的径向外外部收集到出口气流中。

4. 根据权利要求3所述的方法，其特征在于：冲击波是通过使流体气流流过雾化器(11, 315)而产生的。

5. 根据权利要求1至4之一所述的方法，其特征在于：将已除去凝结物的气体运送至一个井口(505, 552)或不同储积区内的操作是通过一生产油管(317, 617)来完成的，凝结物或部分凝结物通

过不同的路线(618, 708)被运送至地面。

6. 根据权利要求1所述的方法, 其特征在于: 将作为可凝结成分的水从气体中除去。

7. 一种用于从地层中生产气体的完井装置, 其包括一个井口(505, 552)和一个井筒, 井筒内设置有从井口(505, 552)向井下延伸的油管(317, 617); 该完井装置还包括一个超音速惯性分离器, 所述超音速惯性分离器包括:

一个可选择的涡旋发生部分(15, 41, 313, 409), 该部分能够使气体产生涡旋;

一个收集部分(7, 43, 316), 该收集部分内收集着含有减少量凝结物的气流;

其特征在于所述超音速惯性分离器包括:

一个加速部分, 在该加速部分内, 来自地层(301, 603, 704)的气体被加速为超音速, 并使凝结物冷凝。

8. 根据权利要求7所述的完井装置, 其特征在于: 包括一个设置于井筒内的超音速惯性分离器。

9. 根据权利要求7所述的完井装置, 其特征在于: 包括一个设置于井口处的超音速惯性分离器。

10. 根据权利要求7至9之一所述的完井装置, 其特征在于: 包括将生产地层的一储积区与一个或多个其它储积区连接起来的多分支井筒系统。

11. 根据权利要求7至9之一所述的完井装置, 其特征在于: 还包括一个或多个潜水泵。

12. 根据权利要求7所述的完井装置, 其特征在于: 用于收集含有减少量的凝结物之气体的收集部分(43, 316)由一个第二出口(43, 316)限定而成, 所述第二出口穿过第一出口(27, 318, 319)同轴延伸, 用于将凝结物运送至超音速惯性分离器的管状壳体(23)内。

## 用于从天然气流中除去凝结物的方法及完井装置

### 技术领域

本发明涉及一种用于从天然气流中除去凝结物的方法和一种用于从应用上述方法的地层中采出气体的完井装置。

### 背景技术

由地下或海底产气地层（在下文中称之为地下岩层）中开采出来的气体需要将通常为液体或具有较高凝结温度的成分分离出来。在权利要求书和说明书中以术语“凝结物”表示的成分包括水、丙烷、丁烷、戊烷、丙烯、乙烯、乙炔及其它类似二氧化碳、硫化氢、氮气这样的物质。通常情况下，气体流在位于井口下游的地面上受到处理，其中井口通过一个主井筒与地下产气岩层相连接，而主井筒内包含有从井口延伸到井下的油管系统。

这种设置方式对于多分支井而言尤其不利于节约成本，在多分支井（即包括多个分支井筒的完井系统，这些分支井筒将产气层与一个或多个其它的储积区连接起来）内，天然气和/或凝结物，或部分天然气，或部分凝结物从一个地层被注入到另一地层内或在一个地层内从一个储积区域注入到另一储积区域内。这样做的目的在于开发出一个新井或恢复一个现有的井；或者存储天然气或凝结物，以备后用等。

能够有效降低气体露点的分离装置一般需要复杂的设备和仪器，例如被冷冻的贫油或乙二醇的吸收装置。一般情况下，这种操作都极为复杂，以致于不能将其放置在像海底井口这样的井口内，而且操作的成本也太高，以致于不能将其放置在产气田的单个井口内。

用于从气体中除去水的井下分离装置已是公知的技术，例如美国专利5444684。这种装置使用多个浮球，当井筒内的水平面变高时，这些浮球能够浮起并堵住流道，接下来当形成气体压力时，上述浮球将迫使水平面下降，以允许采出的气体不含液态水。这种装置仅能够将采

出的气体中排出液态水。但其不能从开采出的气体中除去凝结物或水。

美国专利5794697也公开了一种井下分离装置，用于从由井下开采出来的气体和液体的混合物中分离出气体。该专利着眼于气体的井下压缩并将气体再次注入到气体的气顶（gas cap）内，而气顶覆盖在残留在地层中的油上。在该专利中，描述了一种作为麻花钻的分离装置，该装置能够使流体产生涡旋，并从涡旋的中心处将气体排出。这种分离装置也不能降低气体的露点（即不能将凝结物除去），只能分离已有的相。

在国际专利申请W095/09970中公开了一种所述的分离方法和惯性分离装置。这种公知的分离器包括一个旋风分离器，在该分离器内，产生的水与产出的气体分离，而水蒸气在一个独立的高压隔膜内与气体分离。

因此，就需要提供一种结构更为简单的分离装置，用于从位于井口节气门上游的天然气流中除去凝结物和/或水，即在天然气流以通常的15MPa（15MN/m<sup>2</sup>）或更小的低压进入地面或海底设备内之前从中除去凝结物和/或水。这是因为：首先，在井口节气门的上游仍然存在分离所需的较高压力，从而可以更好地利用已经存在的势能，否则这部分势能将在井口的节气门处浪费掉；第二，当气体向上流向井口时，可通过将热量传递给包围井筒的更浅的地层而得到冷却，而且当气体沿井筒向上流动时，可通过隔热膨胀而得到冷却。当气体冷却时，凝结物和/或水将从先前的饱和气流中凝结出来。在产气井筒中冷凝出来的液体可能会产生许多问题。分离的液相可能会极大地增加井筒内的静压力（static head），因此就会降低油井的压力和/或气体的产量。根据所产生的流动工况，可能形成液体，直到井筒受到相当大的附加液体压力。另外，水也可以与碳氢化合物和/或硫化氢结合在井筒内形成氢氧化物。这些氢氧化物将会堵塞油井。为防止这种情况的发生，通常将乙醇或乙二醇注入到出气井中，以防止固态氢氧化物堵塞井筒。这种注入操作成本较高，而且还会在井筒内形成更多的液体。这些液体的溢出将产生严重的环境问题，因为这些液体本来就可以与水混合。

现在已经有许多用于从气态或其它流体中分离成分的方法和装置。例如，传统的分离装置包括蒸馏塔、过滤器和隔膜、沉淀箱、离心分离机、静电沉淀器、烘干机、旋流器、涡管分离器和吸收器。此外，在现有技术中还公开了装配有超音喷嘴的各种不同的惯性分离装置。

JP-A-02, 017, 921公开了通过使用超音流分离气态混合物的装置。该装置包括一个设置于超音喷嘴上游侧的旋流器。接着，涡旋的流体流穿过一个沿轴向对称设置的膨胀喷嘴，以形成均匀的颗粒。在一个很长的轴向距离内保持这种涡旋，以形成一个较大的压降。

US-A-3, 559, 373公开了一种超音流分离装置，其包括一个高压气体入口，一个矩形的喉部和一个U形的矩形截面沟槽。该沟槽包括一个弯曲的渗透外壁。气体流以亚音速流向气体入口。气体通过喉部会聚并扩张到沟槽内，以将速度提高到超音速。流体在超音区域内的膨胀将使液滴相互结合，而且较大的液体穿过可渗透的外壁并收集在一个腔室内。

EP-A-0, 496, 128公开了一种用于从气体混合物中分离气体的方法和装置。该装置包括一个朝向喷嘴会聚并分散成一个涡旋区域的筒体。气体以亚音速进入筒体的入口并流过喷嘴的会聚部分。气体流流出会聚区域并以超音速进入筒体的分散部分。一对三角形的板使超音速流产生涡旋。超音速流和涡旋的结合有利于从流体流的气态成分中凝结并分离出凝结成分。一出口管设置于筒体内的中央位置上，以允许流体流中的气态成分以超音速排出。液态成分继续流过第二分散部分，在该部分其速度降低为亚音速，接着液态成分流过一个风机，并最终通过一第二出口离开筒体。

W099/01194公开了一种用于从包含有多种气态成分的流体流中除去选定气态成分类似方法和相应的装置。这种装置设置有一个位于收集区下游侧的冲击流发生器 (shock flow inducer)，以将流体流的轴向速度降低为亚音速。以这种方式应用冲击波可以更有效地分离已成形的颗粒。

这些现有技术描述了各种不同的超音惯性分离装置。但是，这些现有技术都没有描述或暗示在井口节气门的上游使用完井装置，和/或替代井口节气门。

#### 发明内容

根据本发明提供一种用于在与地下岩层相连接的井口节气门之上游从天然气流中除去凝结物的方法，该方法的特征在于该方法还包括以下步骤：

(A) 使天然气流以超音速流过一个超音速惯性分离器，该超音速惯性分离器包括一根导管(1, 23, 314)，所述导管设置有一加速部分(3, 25, 312)，气流在所述加速部分内被加速到超音速，从而使其冷却到这样一个温度，该温度低于凝结物开始冷凝并形成独立的液滴和/或颗粒的温度；

(B) 将气体和/或已冷凝的凝结物运送至一井口(505, 552)和/或将其再次注入到产出上述气体的地层(301, 603, 704)中，或将其注入到不同的地层(710)中，而且并非所有已收集到的气体和凝结物都被再次注入到同一地层(301, 603, 704)的同一储积区域内。

本发明还涉及一种用于从采用上述方法的地下岩层中开采气体的完井装置。

在本文前面提到过的超音速惯性分离装置要求主要为气态的气流(即包含有小于10%的固体或液态)在穿过会聚-分散的Laval喷嘴时应该以足够的压力经历超音加速。油井内的压力及井口节气门前方的压力可与地层压力处于同一范围内，而且通常是绰绰有余。因此，该方法可用于单分支井的井口、多分支井的主井口或一个或多个分支井口上，或替代井口的节气门。所以，该方法可用于地面、地下或海底。

应该理解：如果用超音速惯性分离装置替代节气门，那么在降低分配网络所需压力水平的同时，还可以使天然气不含凝结物。

本发明众多优点中的一个优点在于使超音速惯性分离装置的活动部件最少，甚至没有活动部件，以允许将其应用于通常需要遥控

的位置上。最佳的超音速惯性分离装置是在EP-A-0,496,128中公开的那种分离器，即迫使含有液滴和/或颗粒的超音速流产生涡旋，从而使液滴和/或颗粒流向气流中的收集区域之径向的外部，接着将这些液滴和/或颗粒抽到一个超音速收集区内。

在本发明的另一最佳实施例中，产生了冲击波，该冲击波是在将液滴和/或颗粒从收集区内分离出来的过程中由超音速转变成亚音速时产生的。已经发现：如果在冲击波之后在收集区内完成颗粒的收集，即以亚音速流而不是以超音速流收集颗粒，那么分离的效率可以明显提高。这是因为：冲击波分散了气流的大量动能，从而在很大程度上降低了流体速度的轴向分量，而切向分量（由涡旋发生装置产生）则基本保持不变。从而使颗粒在收集区的径向外部的密度远大于在导管内其它部分上的密度，其中导管内的流体流以超音速流动。可以相信：这种效果是由极大降低流体的轴向速度、从而降低颗粒被气流的中央“核心”拖住的可能性而导致的，其中流体流在气流的中央“核心”处的轴向速度大于更接近导管壁处的轴向速度。这样，在亚音速流动工况下，作用于凝结颗粒上的离心力就不会在很大程度上被气流的中央“核心”的拖带作用所抵消，从而使颗粒聚集在收集区的径向外外部，然后将颗粒从该径向外外部取出。

冲击波最好是通过将流体流导入一个雾化器内而产生的。合适的雾化器就是超音速雾化器。雾化器可以是一个分散容量，或是一个会聚和分散容量。

在一个有利的实施例中，收集区域定位于邻近雾化器之出口端的位置上。

本发明可以与其它能够烘干流体流的操作相组合来实施，或者以设置于传统分离器的前方的形式被实施，目的是减少传统分离器的体积和功率。另外，含有来自收集区的液体的气流或者液体已被分离出去的气流可再经历另外一个分离步骤，例如经过一个烘干机或分离器。

如果采用EP-A-0,496,128或W099/011994所述类型的超音速惯性分离器，那么所有与凝结物一起被分离出来的气体部分，即从收集

区的径向外部分离出来的所有气体部分可循环回到入口，最好使用一个导入装置来完成这种操作，以增加返回入口气流内的压力。

本发明的另一实施方式是将凝结物沿一确定路线运送至一个液体-液体分离器内，例如在该分离器内使碳氢化合物的液相与气相隔开。水的液相例如可被再次注入同一地层中的较浅或较深的储积区域内，或者被注入到一个不同的地层中。碳氢化合物的液相（不是气态）或者与气体一起产生，或者与气体分别产生。将碳氢化合物的液相重新注入例如以备将来开采也是一个可选方案。

用于使气流产生超音速流动的合适装置包括具有Laval型入口的导管，其中雾化器的最小横截面流动面积最好大于具有Laval型入口的导管的最小横截面流动面积。

本发明还可用于将从凝结物中分离出来的气体再次注入到井筒内。例如，当存在多个储积区（例如叠置的储积区或被多分支井的不同井筒穿过的不同储积区），而且仅要求从气体中分离出凝结物的情况下。可将气体重新注入，以防止其燃烧或保持储积区的压力。本发明的分离装置可从气体中除去凝结物流体，而且可将气体再次注入到同一井筒中。

#### 附图说明

图1为用于实施本发明的分离器之第一最佳实施例的纵向剖视图；

图2为用于实施本发明的分离器之第二最佳实施例的纵向剖视图；

图3为安装于完井装置的井筒内的本发明之装置的示意图；

图4为用于展示实施本发明所用装置的示意图；

图5A和5B示出了设置于完井装置之井口处的本发明之装置的示意图；

图6为本发明的一个实施例，在该实施例中，从本发明的分离器流出的液体流按一确定路线流向一个液体-液体分离器，而且气相与碳氢化合物的相分离，气相被重新注入到地层中；

图7为本发明的一个实施例的示意图，其中已形成凝结物，而且气体被重新注入到一地层中。

#### 具体实施方式

图1以端部开口的管状壳体1之形式示出了一根导管。一流体入口3设

置于壳体的一端，一个用于满载液体的流体之第一出口5设置于壳体另一端的附近，一个用于基本不含液体的流体之第二出口7设置于壳体的另一端。装置1的流动方向为从入口3流向第一和第二出口5、7。入口3是一个包括有Laval型、在流动方向上具有会聚-发散形状的加速部分，以使通过所述入口3流入壳体内的流体流产生超音流速。壳体1还设置有一个第一圆筒形部分9和一个雾化器11，以使主要的圆筒形部分9位于入口3和雾化器11之间。一个或多个（例如四个）三角形的翼板15从第一圆筒形部分9的内表面沿径向向里凸出，每个翼板15都相对流动方向以选定的角度设置于壳体内，以使以超音速流过壳体1之第一圆筒形部分9的流体产生涡旋。

雾化器11沿流动方向的纵向截面为收缩-发散形状，以限定一个雾化器入口16和一个雾化器出口19。雾化器的最小流通截面面积大于Laval型入口3的最小流通截面面积。

壳体1还包括一个第二圆筒形部分17，该部分的流通面积大于第一圆筒形部分9的流通面积，而且该部分以雾化器11的延伸部分之形式设置于雾化器11的下游。第二圆筒形部分17设置有纵向的液体出口狭缝18，该狭缝18设置于相对雾化器出口19有一合适距离的位置上。

一出口腔室21封闭着第二圆筒形部分17并设置有上述用于被凝结的液体流的第一出口5。

该第二圆筒形部分17延伸成上述的第二气体出口7。

现在利用亚音速分离的实施例对装置1的常规操作加以说明。

含有微小颗粒的气流被导入Laval型入口3内。当气流流过入口3时，气流会被加速至超音速。由于气流速度的极大提高，使得气流的温度和压力降低到低于气流中较重气态成分（例如水蒸气）的露点，从而使其冷凝，以形成多个液体颗粒。当气流沿三角形翼板15流动时，将会使气流产生涡旋运动（由螺旋线22表示），从而使液体颗粒受到径向向外的离心力。当气流进入雾化器11内时，将在雾化器11的下游出口19附近产生冲击波。冲击波消耗了气流的大量动能，从而主要降低流体速度的轴向分量。由于流体速度的轴向分量剧烈减小，因此气流中央部分（或“核

心部分” ) 将以较低的轴向速度流动。这样就降低了固体和冷凝颗粒被沿第二圆筒形部分17流动的气流中央部分带走的可能性。这样, 凝结的颗粒就可在第二圆筒形部分17中凝聚于气流收集区的径向外侧内。凝聚在一起的颗粒形成了一个液体层, 可通过出口狭缝18、出口腔室21和第一液体出口5将该液体层从收集区内抽出。但是, 在本发明的范围内, 也可不用上游的冲击波, 而是以超音速除去冷凝颗粒。

已除去可冷凝蒸汽的气流通过基本不含气体的第二出口7被排出。

图2示出了用于实施本发明的第二实施例的装置。该装置包括一个端部开口的管状壳体23, 壳体23的一端设置有一Laval型的流体入口25, 而其另一端设置有一个用于含有固体的气流和冷凝液体的第一出口27。流体在该装置内的流动方向由箭头30表示。壳体23从其入口25到液体出口27(依次)设置有一第一圆筒形部分33, 一发散的雾化器35, 一个第二圆筒形部分37和一个发散部分39。一个三角形的翼板41在第一圆筒形部分33上沿径向向里凸出, 该翼板41相对流动方向以一个选定的角度设置于壳体内, 从而使以超音速通过壳体23流动的流体产生涡旋运动。一个用于气体的管形第二出口43同轴地穿过第一出口27延伸到壳体内, 并在第二圆筒形部分37的下游端设置有一入口45。出口43可在其内部设置有一矫直部分(未示出), 例如一个叶片式的整流器, 用于将气体的涡旋流动转化为直线流动。

第二实施例的常规操作与第一实施例的常规操作基本相同。超音速涡流产生于第一圆筒形部分33内, 冲击波(如果存在的话)产生于雾化器35向第二圆筒形部分37的过渡部分内。如果在第二圆筒形部分37内采用雾化器, 那么还会产生亚音速流动。含有固体颗粒和冷凝液体的气流通过第一出口27被排出, 而干燥后的气体通过第二出口43被排出, 涡旋流动的气体在第二出口43内通过整流器转化为直线流动。

在上述的详细说明中, 壳体、第一圆筒形部分、雾化器及第二圆筒形部分都具有环形截面。但是, 壳体、第一圆筒形部分、雾化器及第二圆筒形部分中的每一个都可以选择其它合适的截面形状。而且, 第一和第二圆筒形部分还可交替具有除圆筒形外的其它形状, 例如截锥形。此外, 雾化器也可以具有其它合适的形状, 例如没有

收缩部分（如图2所示），尤其是在应用于流体以较低的超音速流动的情况下。

替代每个翼板都相对壳体的轴向以一固定角度定位的结构形式，翼板可相对流动方向以一个变化的角度定位，最好与一个螺旋形的翼板组合。也可通过沿一条相对初始流动轴线的角度不断变大的路线设置平面状翼板而得到类似的结果。

另外，每个翼板都可设置有一隆起的翼尖（也被称为小翼）。

替代发散形的雾化器（图2），当沿流动方向观看时，雾化器可交替设置有一个发散部分，而该发散部分后面紧跟着一个收缩部分。这种发散-收缩形雾化器的一个优点在于：流体在雾化器内的温度升高量较小。

参照图3，图中示出了一个位于井筒内的本发明之装置。产出碳氢化合物的地层301位于覆盖层302之下并被井筒303穿透。井筒通过孔305与地层联通，在图中孔305内充填有沙子306，以防止地层跨落到孔内。一套管307被放置在井筒内并被水泥308所固定，其中水泥308是通过从套管的内部灌入，然后向外环流到套管外部实现灌注的，从而形成支撑。紧随水泥设置有一个水泥塞309，该水泥塞保持在套管的底部并被一个设置于套管底部的唇缘310卡紧。

从地层流出的气体被迫通过一密封封隔器311穿过本发明的分离装置，该密封封隔器311能够有效隔离产气层区域内的井筒。从产气层内流出的气体流过产生超音速的Laval型入口喷嘴312，翼板313使涡流以超音速流动。为超音速流动区域设置一个足够长的流动路线314。如果有的话，可设置一个雾化器部分315，以形成音速冲击波，该雾化器部分最好恰好设置于在径向的外部从水蒸气内分离出来的液体的下游，而蒸汽被捕捉到涡旋溢流管316内并按一定路线穿过一个产气油管317通向地面。来自收集部分318之径向外部的流量在图中被表示成介于套管307和产气油管317之间并按一定路线通过一切向出口319通向产气油管的一个环形空间。该切向出口有利于将液体气流中的液体从蒸汽中分离出来。尽管从收集部分的径向外外部除去的气流最初为液体，但是当气体在由雾化器产生的冲击波内被重新

压缩时，可能会大量地汽化。但，液体可被充分浓缩，即使温度的升高不能使气流中的所有凝结物都产生汽化。在图中示出了一个常规的杆式泵或井下电动泵320，以除去落回密封封隔器311上的液体水。对于液体和气体而言，将其重新注入到地层中也是可能的，如果需要可根据地层压力情况或在多分支井（multilateral wells）的情况下使用一个电动潜水泵。

浓缩在水和/或重碳氢化合物中的气流最好是一种不必加入防止形成氢氧化物的成分的合成物。即使需要水化抑制，所需的水化抑制化合物的数量也相当的少，因为只需要处理较小容积的待处理流体。

参照图5A，图中本发明的装置设置于海底的井口处。一个位于水体513内的海底油井501设置有一套管502，而且还设置有能够在地层512和井筒504的内部之间形成联通的孔503。常规的井筒设备505在图中已示出。本发明的分离装置506能够从被烘干的蒸汽流508中分离出大部分液体流507。海底509的温度接近冰点，而且沿海底管道形成碳氢化合物是一个很重要的问题。本发明提供一种结构简单、维修少、成本低的脱水装置。可通过一个受控制的注入操作511向被分离出来的液体中加入水化抑制添加剂510。

参照图5B，图中示出了另一实施例，一井筒550设置于地面551上。该井筒内装有套管554，而套管554上设置有孔555。可设置一个常规的井筒设备552。液体-蒸汽分离器553上设置有一液体出口556和一高度控制装置557。液体-蒸汽分离器563上的蒸汽出口沿一固定路线通向本发明的脱水装置558。从本发明的分离器之出口559排出的蒸汽是干燥的气体560，这种气体的露点低于生产出来的气体之露点。来自本发明之分离器的液体564中可能含有饱和蒸汽，因此最好沿一定路线通向蒸汽-液体分离器561。从第二分离器562排出的液体可与来自第一分离器的液体相互结合，或分别沿一定路线通向地面设备。或者，来自第二分离器的液体也可被重新注入到地层中，以对其进行有效处理。源于第二分离器的液体可被泵送到一个压力

较高的存储装置内，其中这种存储装置又通过多分支井的不同井筒相互连接，或者这部分液体也可以通过现有的压降流向一个低压地层。如果需要重新注入的话，那么可将来自第二分离器的液体收集在一起，接着重新注入；或者将其重新注入到产出上述气体的井筒内。

参照图6，图中示出了本发明的一个实施例，其中本发明的分离器设置于一个井筒602中，而该井筒602是在出产碳氢化合物气体的地层603中钻出的。在图中，该井筒内安装有一套管604和一水泥靴606 (cement shoe)，其中套管604被水泥605所固定。一封隔器607将井筒的生产部分隔开，并将产生的气体压入本发明的分离器的入口608。一翼板609使流过Laval型喷嘴610的超音速气体产生涡旋，而且凝结物被收集在一起并从液体出口611排出分离器。从液体出口排出的液体流过液体-液体分离器612。该液体-液体分离器可以是本领域内公知的任何一种分离器。液体被分离成一个碳氢化合物相，该碳氢化合物相通过一个油管618例如挠性油管沿一定的路线流向位于地面614上的井口613。一含水的液相沿一定路线通过孔616通向地层。在图中还示出了第二组封隔器619，该封隔器将用于重新注入含水相的井筒之一部分隔开。从含水凝结物中除掉的蒸汽沿一定路线通过一个生产油管617通向分别收集生产出来的气体620和碳氢化合物液体621的井口。

参照图7，图中示出了一个安装有套管714的井筒701，而且井筒701上还钻有孔702。水泥703将套管固定在生产碳氢化合物的地层704中，水泥被水泥靴715后面的压力向下压入套管。碳氢化合物被压入本发明的分离装置705。本发明的分离器设置有一液体出口706和一蒸汽出口707。液体出口与一个生产油管708联通。蒸汽出口与套管709内部的一段体积联通，该部分又与一第二地层710联通，蒸汽通过多个孔711被重新注入到第二地层710中。与第二地层联通的套管内部的体积部分被一个上部封隔器712和一个下部封隔器713隔开。

将图6或7所示的装置应用于多分支井筒系统的情况在图中未被示出。如果将其应用于一个带分支的井筒系统中，那么本发明的装置最好被用在井筒的接合处。在这种结构形式中，凝结物或部分凝结物，或者处理过的气流或部分被处理过的气流可通过分支井筒导入不同的地层或不同的存放区域。这种装置可用于避免水流向地面，因为流向地面的水还需要进一步的处理。本发明还可应用于使气体流向用于保持压力或地下储气的存放区域的情况下。

涡旋发生装置可设置于导管的入口部分处，而不是设置于入口部分的下游。

### 实例

准备用于本发明的检测装置，并证明本发明的装置能够在周围条件下从空气中分离水蒸气。很明显，如果该装置用于地面、海底或井口处，那么就应该使用不同的温度、压力和马赫数。但是，技术人员将会毫不费力作出所需的修改。图4表示出所用装置的总体结构。

在该实例中，空气425被一风机401加压至14KPa (1.4bar(a))，以形成高压空气426。当空气流过风机之后，其被设置于容器418内的叶片式冷却器402冷却至约25至30°C，而且水419被喷入位于冷却器420下方的蒸汽空间内，以确保空气接近水饱和状态 (RV = 90%)。这种饱和水的空气427被输送给液体-蒸汽分离器403，水在该分离器403内被分离，同时有少量的空气和液体水流及被烘干的空气422一起滑入到湿气流421中。

在该实例中，本发明的装置设置有圆筒形的输送管，但是具有矩形或非对称横截面的导管也可得到相同的结果。因此经常要涉及本发明之装置的直径，而且其直径通常是指内径。

常用的入口条件概括如下：

1. 整体流速：1.2kg/s
2. 入口压力：140KPa (1400mbar(a))
3. 入口温度：25°C

#### 4. 入口湿度：90%

该装置冷凝了水蒸气，从而形成了含有大量水滴的雾流。我们发现：超音速区域428内的最终温度和压力分别为  $-28^{\circ}\text{C}$  和  $68\text{KPa}$  ( $680\text{mbar (a)}$ )，这样就使水蒸气的含量小到可以忽略的程度。

喷嘴喉部的直径404为70mm。入口直径405为300mm，尽管其数值相对装置的运转而言并不重要。喷嘴的出口直径400为80mm，目的是达到超音速流动条件；通常情况下相应的马赫数  $M = 1.15$ 。

喷嘴的长度决定于冷却速度，在这种情况下冷却速度为  $19000\text{K/s}$ 。本领域的普通技术人员能够确定流过该装置的温度和压力及冷却速度。冷却速度决定着液滴的大小分布状态。如果冷却速度较小，那么液滴的平均尺寸就较大。喷嘴的长度为：

L1, 406: 700mm: 从喷嘴的入口到喷嘴的喉部

L2, 407: 800mm: 从喷嘴的喉部到喷嘴的出口

为减少摩擦损失，壁的粗糙度很小，最好为1微米或更小。

根据应用情况，只有考虑到上述的设计参数，那么可以使用所有的刚性材料制造喷嘴装置。

涡管408被连接在喷嘴出口和雾化器之间。在涡管内设置有一翼状的涡旋发生（内部）部件409。在该内部部件的边缘上，一涡流形成于上（低压）侧并从该平面流出，最好在后缘流出。该翼状板的底部索带（root cord）被连接到涡管的内壁上。

涡管400的内径为80mm。在这种情况下，涡管略成圆锥形；在该翼板的几乎整个索带长度内其直径线性增加到84mm（423）。

在涡管410的圆锥形部分之后，涡管的直径在一定的长度范围内保持84mm不变，而液滴就附着在这段长度的涡管之内壁上。这两个长度分别为：

L3, 410: 300mm: 从翼尖到翼板后缘

L4, 412: 300mm: 从翼板后缘到雾化器

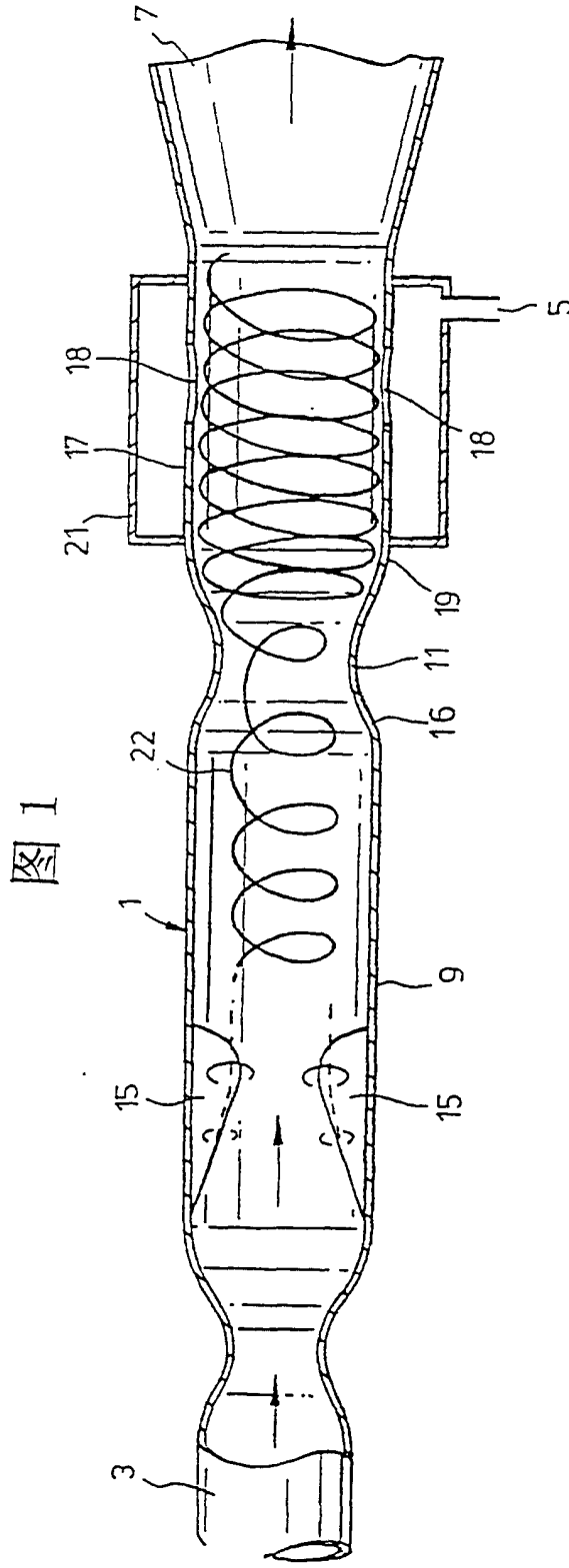
内置翼板的尺寸取决于最佳的流通状态或整体涡旋状态。当翼板索带的长度为300mm、后缘的翼展为60mm、翼板索带相对涡管轴线的

倾角为 $8^{\circ}$ 时，该流量一般为 $16\text{m}^3/\text{s}$ 。前缘的后掠角（相对垂流方向）为 $87^{\circ}$ ，而后缘的后掠角为 $40^{\circ}$ 。翼板的边缘是尖的。翼板平面是平直的，而且其外形轮廓极其纤细。翼板的厚度在底部约为 $4\text{mm}$ 。该翼板相对涡管轴线的角度为 $8^{\circ}$ 。

流出涡管的液体可在排放部分被排出。该排放部分不是一个极易辨认的装置，而是涡管的一个一体部分，例如其可以是一个设置于涡管壁上的狭缝、多孔材料或孔；或者如图4所示，通过涡旋溢流管413（同轴导管）成为雾化器的一个一体部件。在该实施例中，涡旋溢流管（同轴导管）被放置在冲击波后面的导管中央位置上，而其有恰好在第一雾化器部分414设置于涡管之后。

涡管的尺寸取决于位置424处的雾化器直径（入口处的直径为 $90\text{mm}$ ）和位于位置425处的涡管入口直径（入口直径为 $85\text{mm}$ ）之间的比率。二者之间的横截面之差影响着从含有液体的主流中抽出的最小流量。在这种情况下，最小流量为主流量的 $10\%$ ，即 $0.12\text{kg}/\text{s}$ 。雾化器的长度433为 $1500\text{mm}$ 。

在雾化器中，气流的剩余动能被转换成势能（增加了静压）。这就要求避免边界层的分离，边界层的分离可能产生气流分离，从而降低效率。因此，在本发明的测试中，雾化器的发散角的一半最好小于 $5^{\circ}$ ，在本实例中为 $4^{\circ}$ 。雾化器的入口直径与涡旋溢流管的入口直径（ $85\text{mm}$ ）相同。雾化器的出口直径415为 $300\text{mm}$ ，而且在该位置上的干燥空气约为大气压力。该装置的性能可由两个湿度传感器（电容原则：制造商‘Vaisala’）来测定，其中一个传感器设置于空气入口416处，另一个设置于烘干空气的出口417处，这两个传感器都已作过温度和压力方面的校正。入口处水的百分率为每 $1000$ 克干燥的空气中含有 $18-20$ 克水蒸气。出口处水的百分率为每 $1000$ 克的干燥空气中含有 $13-15$ 克的水蒸气。这可由在入口处已被除掉水蒸气的分离效率 $25\%$ 来表示。这还对应着在超音速区域内凝结液体的分离，因为入口气流中的大部分液体水都在该位置上冷凝。



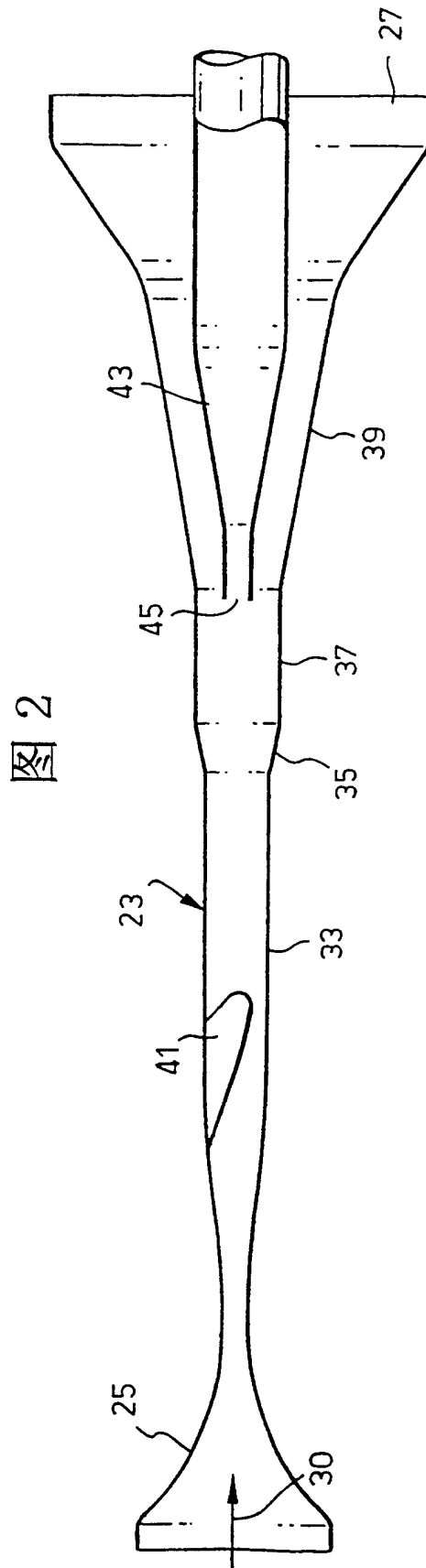
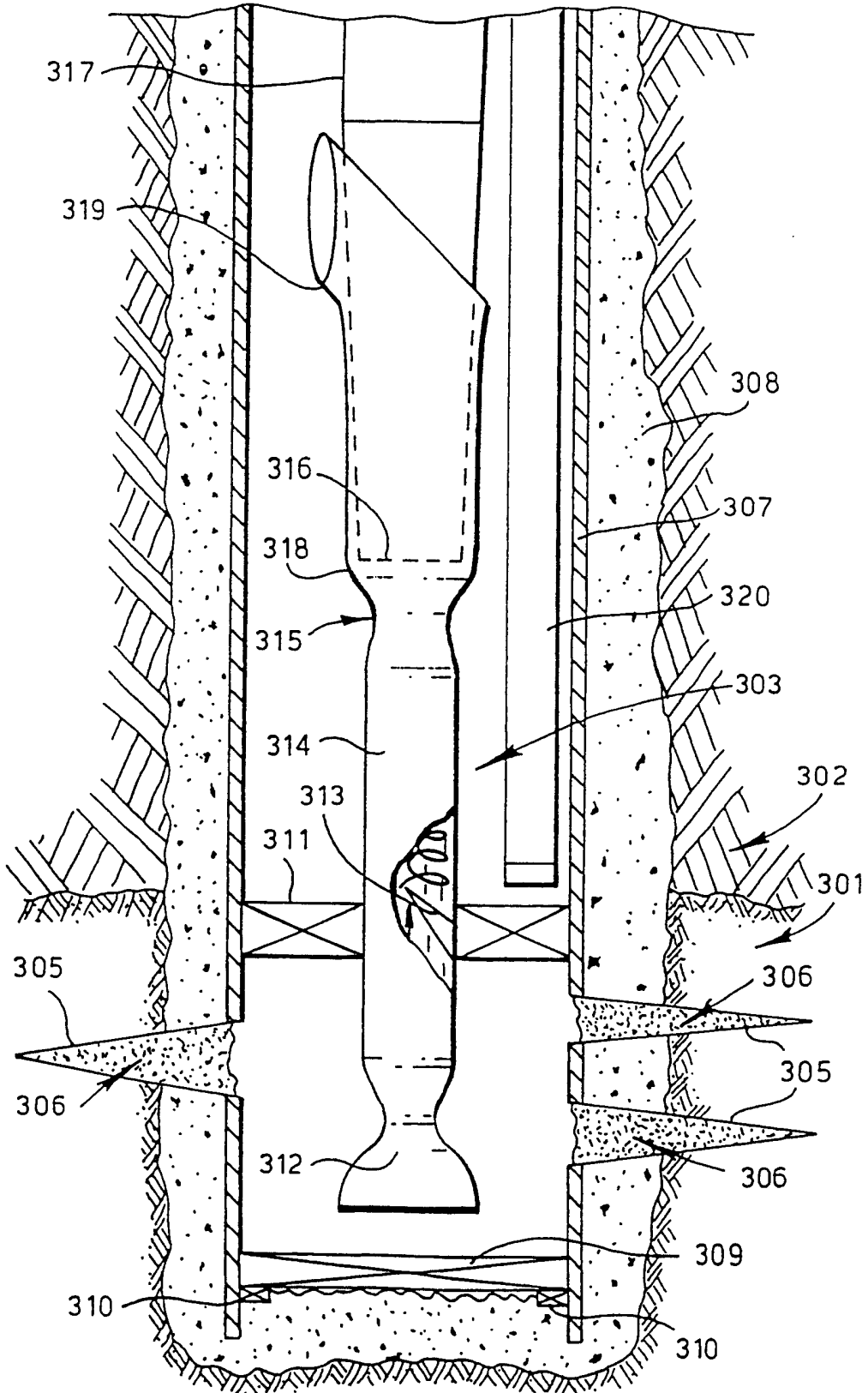


图 2

图 3



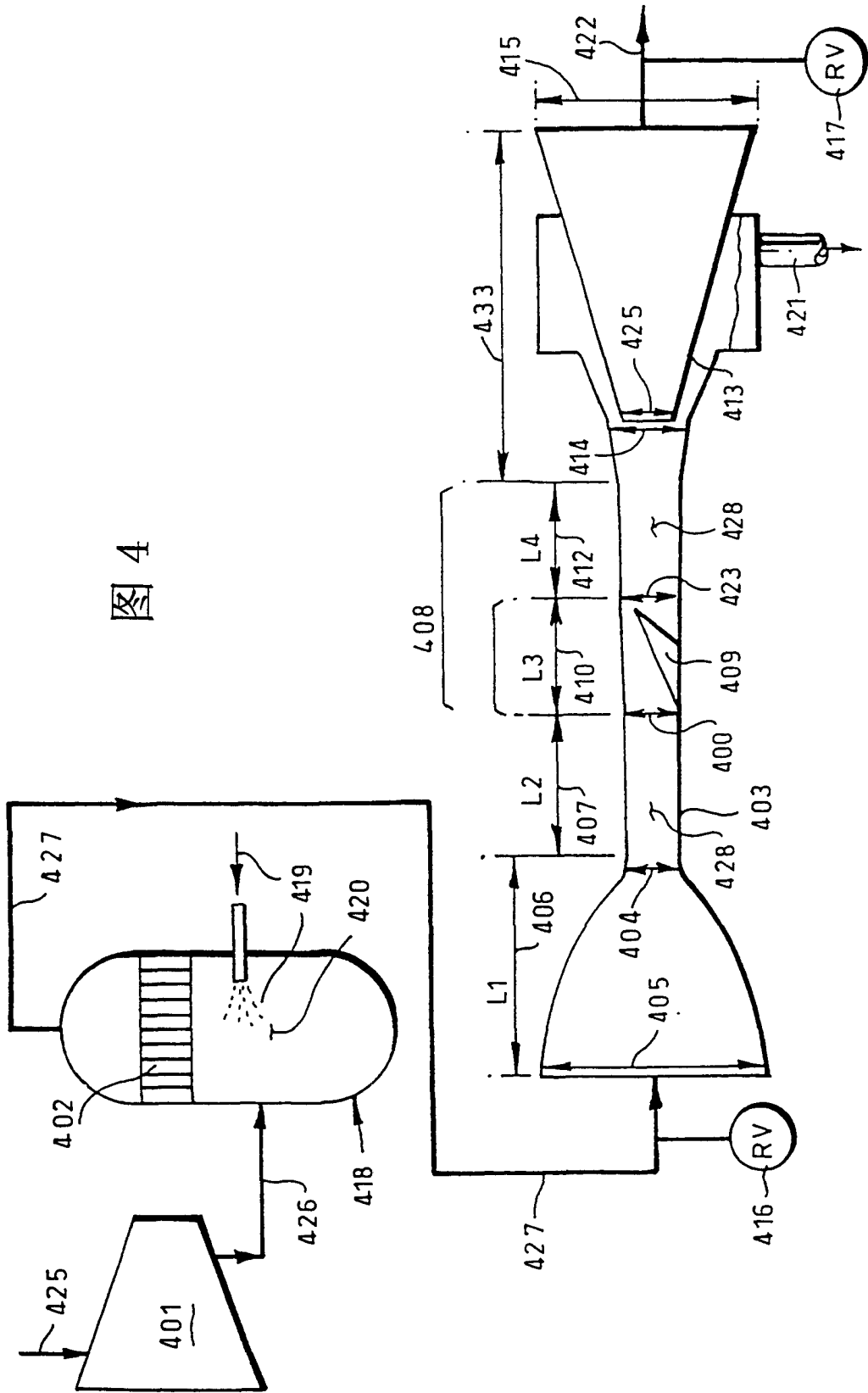


图 4

