

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200710198537.3

[51] Int. Cl.

B01D 45/12 (2006.01)

B04C 3/00 (2006.01)

F25B 9/04 (2006.01)

F25B 43/00 (2006.01)

F25J 3/06 (2006.01)

[43] 公开日 2009年6月17日

[11] 公开号 CN 101455923A

[22] 申请日 2007.12.13

[21] 申请号 200710198537.3

[71] 申请人 李树云

地址 062552 河北省任丘市华北油田五处科
研小区离退休管理站

[72] 发明人 李树云 李颖 刘秋平

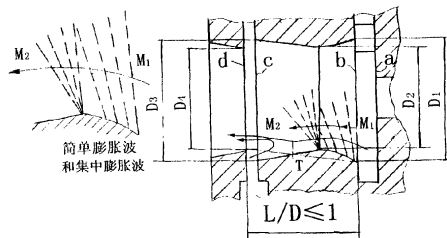
权利要求书1页 说明书6页 附图1页

[54] 发明名称

超声涡管离心气液分离器

[57] 摘要

一种可使膨胀制冷和相分离合为一体的超声涡管离心气液分离器，本发明提供了普朗特迈耶膨胀结构，将现有技术马赫数 $M \leq 1.2$ 等熵地提高到工艺流程压比对应的马赫数 $M \geq 1.69$ ，据此大幅度提高离心加速度，离心力和制冷效率，从而达到适应原料气组分，压力和膨胀比的能力都很强的效果；提供的普朗特迈耶等熵压缩流动分离结构，保障在喷口以内回收全部合格液体。它用于石油气体分离可省去庞大的塔器设备机泵管线阀门，并可增产节能降耗；没有转动零件开工率高于其它机动设备；适用于无电地区 $4.0 \sim 8.0 \text{MPa}$ ； $0.5 \sim 50 \times 10^4 \text{NM}^3/\text{d}$ 气量；用于改造国产和引进的部分浅冷装置，可用于其它气体冷冻液化。



1、一种可使膨胀制冷和相分离合为一体的超声涡管离心气液分离器，它由气体进口，弯道截面积渐缩喷嘴出口以半径 $R_{0.5\sim 0.55D}$ （涡管直径）与狭窄槽旋转室相切，冷流出口、切向式喷嘴离心气液分离区、狭窄环槽液体出口、隔热垫圈、涡管、扩压器、热流出口等组成，其特征是在离心气液分离区进口区域，设置普朗特 __ 迈耶简单膨胀波和集中膨胀波结构，在离心气液分离区出口区域，设置普朗特 __ 迈耶等熵压缩流动分离结构，在切向式喷嘴离心气液分离区喷口以内设置狭窄环槽液体出口。

2、根据权利要求 1 所述的超声涡管离心气液分离器，切向式喷嘴离心气液分离区长度 L 与涡管直径 D 之比 $L/D \leq 1$ ，其特征是狭窄槽旋转室的 b 边直径 $D_1=0.8\sim 0.7D$ ， D_1 是离心气液分离区进口直径；狭窄环槽液体出口 d 边直径 $D_4=0.6D$ ，连线 D_1 和 D_4 ，构成切向式喷嘴离心气液分离区 D_4 是喷口直径，离心气液分离区直径 $D_2=0.618D$ ； D_1 和 D_2 之间的普朗特 __ 迈耶膨胀偏转角 $\nu \geq 17.5^\circ$ ，用圆弧线光滑连接 D_1 和 D_2 ，狭窄环槽液体出口 C 边直径 $D_3=0.63\sim 0.7D$ ，连线 D_2 和 D_3 与 D_1 和 D_4 的连线交于点 T ， D_1 、 D_2 和 T 点之间绕凸角，光角的偏转流动构成普朗特 __ 迈耶简单膨胀波在点 D_2 尖点构成普朗特 __ 迈耶集中膨胀波结构，弯道渐缩喷嘴出口马赫数 $M_1=1$ ，等熵地膨胀到 $M_2 \geq 1.69$ 。

3、根据权利要求 1、2 中任何一项所述的超声涡管离心气液分离器，其特征是 D_1 和 D_4 连线与 D_2 和 D_3 连线交于点 T ，点 T 和 D_3 连线的延长线交于狭窄环槽液体出口的 d 边与 D_4 之间形成的圆锥形构成普朗特 __ 迈耶等熵压缩流动分离结构。

4、根据权利要求 1、2 中任何一项所述的超声涡管离心气液分离器，离心气液分离区长度 L 与涡管直径 D 之比， $L/D \leq 1$ ，其特征是切向式喷嘴离心气液分离区喷口直径 D_4 最小， $D_4=0.6D$ ， D_4 也是狭窄环槽液体出口的 d 边， D_3 是狭窄环槽液体出口的 C 边 $D_3=0.63\sim 0.7D$ ， $D_4 < D_3$ ，在切向式喷嘴离心气液分离区喷口 D_4 以内设置狭窄环槽液体出口。

超声涡管离心气液分离器

技术领域：属于膨胀制冷高速离心气液分离设备。

背景技术：涡流管制冷，供热是法国人兰克 1933 年提出的，到 1947 年才得到应用，由于制冷效率低，经济性差故应用很不普遍。1984 年美国专利号 4458494 《在离心气液分离器内阻止液体蒸发》使涡流管成为更加有用的装置，它有助于许多新工艺的应用，它和国外大多数开创性发明一样，保留了一部分关键“技术秘密”，或者如美国《世界石油》86 年第 7 期所述，“有许多问题留待开发中解决”。

涡流管高速离心气液分离器，可使膨胀致冷和相分离合为一体，被称为极大重力法（Maxigee）的涡流管气液分离新技术。它利用混合气体压力能，在弯道形截面积渐缩喷嘴出口，气流速度 W 达到声速 a ，马赫数 $M=W/a=1$ ，马赫数 $M=1$ 的气流，以一定半径与切向式喷嘴气液分离区的外缘圆周相切，马赫数 $M=1$ 的声速气流在气液分离区的内壁，产生了高速度旋转，在喷口处可达超声速，马赫数 $M \cong 1.2$ ，声速气流产生的离心加速度，离心力可达地球引力的几百万倍，在极大的离心力区域，气液分离作用更接近于靠比重而不是相分离，即离心分离效应比相分离效应大几倍，在极大的离心力区域里，露点与在地球重力的情况不同，更接近要分离液体的沸点，涡管内的气液分离恰好在气液界面进行，涡管在浅冷温度下分离的效果与在深冷温度 $-80 \sim -90 \text{ }^\circ\text{C}$ 低温相分离的透平膨胀机相当。

工艺流程数据，进口压力 $3.87 \sim 7.0 \text{ MPa}$ ；出口压力 $0.8 \sim 1.0 \text{ MPa}$ ，压比 $1: 4.8 \sim 1: 7$ ；但压比大于 $1: 2.5$ 后，离心加速度和离心力不再增加，即最大马赫数 $M \cong 1.2$ ；当冷流出口引出 $45 \sim 55\%$ 冷流时，冷流出口温度最低，这就是说本来很低的制冷效率，仅有 $1/2$ 的制冷量。因此提出还有待做更多的试验来找出离心加速度，离心力、分离效率之间的关系，因此有必要变更涡流管结构设计相关数据，通过实验了解涡流管

内复杂的空气动力学现象。

为了避免激波熵增和激波后气流速度变的更低，只能采用弯道形截面积渐缩声速喷嘴结构，采用了航天领域所熟悉的切向式喷嘴结构气液分离区，马赫数 $M=1$ 的声速气流沿切线方向进入旋转室，自由涡流的旋转质量愈向中心角速度愈大，于涡流室沿半径方向形成了不同角速度的气流层，由于气流层之间摩擦，内层的角速度要降低，而外层的角速度要提高，因而内层气流层便将一部分动能传递给外层，涡流室中心部分的气体温度变低，外层温度变高，当气液分离区喷口直径等于 $0.6D$ 涡管直径时，制冷效率最高，当喷口直径小于 $0.6D$ 涡管直径时，冷流出口和热流出口温度同时上升，制冷效率下降。因此不能采用减小喷口直径的方法来提高离心加速度，离心力和制冷效率。

美国专利号 4458494 对气液分离之目的和效果进行了详细的描述，对于该发明最主要的核心技术特征反而没有充分公开，其原因是申请专利时，没有详细分析和实验，也可能是有意无意的保留最主要的核心技术秘密。该发明采用液体火箭切向式喷嘴气液分离区结构，它的狭窄环槽液体出口设置在切向式喷嘴离心气液分离区喷口之外。液体质点从喷口出来后，就失去了壁面反作用力的向心力，于是沿着直线轨迹飞散，形成雾化锥，液体应当穿过狭窄槽进入环形槽液体出口，虽然离心切向式喷嘴具有较大的雾化锥角（ $70^\circ \sim 120^\circ$ ）但是雾化锥角取决于旋转速度 W ，液体旋转速度从 15 米/秒增加至 40 米/秒，速度 W 增加 25 米/秒，雾化锥角减少 50° ，液体旋转速度愈大，雾化锥角愈小，气体声速 a 以 200 米/秒计，则雾化锥角近似零度，狭窄环形槽液体出口的两个边相等，一部或大部分液体被高速旋转气流携带至下游 5~10 涡管直径处湍流温度高的区域蒸发掉，达不到《在离心气液分离器内阻止液体蒸发》之目的，不能实现“完美的分离、不能有液体被气体带走、不能有气体混入液体”的效果。

发明内容：本专利涉及涡流管高速离心气液分离区改造，在气液分离区进口区域提供的普朗特 __ 迈耶简单膨胀波和集中膨胀波，将现有技术气

流速度马赫数 $M \cong 1.2$ 提高到与工艺流程压比相对应的马赫数 $M \geq 1.69$ ，达到大幅度提高离心加速度。离心力和制冷效率之目的，从而达到适应原料气组分、压力和膨胀比的能力都很强的效果，可在较宽的原料气组分、压力和膨胀比的范围内，保障气液离心分离所需足够低的温度；提供的普朗特—迈耶等熵压缩流动分离结构，可使液体增压复热除去液体中的气体；设置在气液分离区喷口以内的狭窄环槽液体出口，不受气流速度 W 影响，保障回收全部合格液体，从而实现完美的分离，保障液体不被高速旋转气体带至下游湍流热区蒸发掉。

附图说明：图 1 是离心气液分离区高速旋转气流流动轨迹示意图。

图 2 是超声涡管离心气液分离区结构原理示意图。

图 3 是超声涡管离心气液分离器整体结构示意图。

图 1 离心气液分离区高速旋转气流流动轨迹示意图示出，进气口（1）弯道形截面积渐缩喷嘴（2）喷嘴数量 1~2 个，狭窄槽旋转室（3）为了不使气流分散和减小轴向分速增大切向分速，旋转室（3）设计成狭窄槽形，槽的宽度近似等于喷嘴（2）的宽度，离心切向式喷嘴气液分离区（5）中的流动特性与有螺旋式涡流器的离心式喷嘴中流动特性相同，都是螺旋线形流动轨迹。混合气体从进气口（1）进入弯道形截面积渐缩喷嘴（2），渐缩喷嘴（2）的出口以 $0.5\sim 0.55D$ 涡管直径与狭窄槽旋转室（3）外圆相切，当进出口压比达到或超过临界，渐缩喷嘴出口气流速度 W 达到声速 a ，马赫数 $M=W/a=1$ ，马赫数 $M=1$ 的声速气流相对于切向式喷嘴气液分离区（5）喷口，具有一定的动量矩，这一特点决定了喷口轴线上气涡流的形成，马赫数 $M=1$ 的声速气流切向进入狭窄槽旋转室（3）沿着气液分离区（5）的内壁以螺旋线流动轨迹旋转，流动是不稳定的，产生较高的旋转率时发生湍流，湍流热转换导致至外围气层温度上升，中心温度下降，从中心到外围的热转换不能立即发生，最高管壁温度在离进口（1） $5\sim 10D$ 涡管直径处，热传导到离进口（1）一倍涡管直径长度的热量相当小，是可以忽略的。因此，在此处取出分离液体，可阻止液体蒸发。

图 2 是超声涡管离心气液分离区结构原理示意图，也是观察者以流体质点速度随着高速旋转流体质点，途径离心气液分离区普朗特 __ 迈耶偏转简单膨胀波和集中膨胀波以及普朗特 __ 迈耶等熵压缩流动分离结构的部位和液体出口部位。切向式喷嘴离心气液分离区长度 L 与涡管直径 D 之比 $L/D \leq 1$ ，图 2 示出狭窄槽旋转室 (3) 的 b 边直径 $D_1=0.8\sim 0.9D$ ，

D_1 是离心气液分离区 (5) 进口直径，狭窄环槽液体出口 (6) 的 d 边直径 $D_4=0.6D$ ；连线 D_1 和 D_4 ，构成切向式喷嘴离心气液分离区 (5)， D_2 是离心气液分离区 (5) 进口区域直径， $D_2=0.618D$ ； D_1 和 D_2 之间的普朗特 __ 迈耶膨胀偏转角 $\nu=17.5^\circ$ ，用圆弧线光滑连接 D_1 和 D_2 ；构成普朗特 __ 迈耶简单波，狭窄环槽液体出口 (6) 的 C 边直径 $D_3=0.63\sim 0.7D$ ；连线 D_2 和 D_3 ； D_2 和 D_3 的连线与 D_1 和 D_4 连线交于点 T ， D_1 、 D_2 和 T 点之间绕凸角、尖角超声速偏转流动构成普朗特 __ 迈耶简单膨胀波和集中膨胀波，如图 2 所示，每条简单波都等于未受扰动流体的声速。

D_2 和 D_3 用直线连接，在尖点 D_2 构成普通朗特 __ 迈耶集中膨胀波，集中膨胀波和简单膨胀波，将马赫数 $M_1=1$ 的气流等熵地膨胀到工艺流程压比对应的马赫数 $M_2 \geq 1.69$ 或者按工艺流程压比设计。据此达到大幅度提高离心加速度，离心力和制冷效率之目的，降低气液分离区进口区域温度保障气液离心分离所需足够低的温度来分离液体，从而达到适应原料气组分，压力和膨胀比的能力都很强的效果。

$M \geq 1.69$ 的超声速气流伴随离心分离和相分离产生的液体，被高速旋转气流甩向气液分离区 (5) 的内壁，液体在气液分离区 (5) 的内壁产生高速旋转，这时在液体中产生了使其贴附于内壁的离心力，速度 W 越高旋转液膜层厚度越薄，紧贴着液膜的是高速旋转气体，当气流绕过集中膨胀波尖点 D_2 到达 D_2 和 D_3 连线与 D_1 和 D_4 连线的交点 T ，点 T 和 D_3 连线的延长线交于狭窄槽环形液体出口的 d 边于和 D_4 之间的圆锥形构成普朗特 __ 迈耶等熵压缩流动分离结构，初始边界层无论是湍流边界层或者是层流边界层都产生压力和温度上升，高速旋转气体压力和温度上

升可使旋转液膜层液体复热，当旋向狭窄环槽液体出口（6）时，液体质点就失去了决定于气液分离区（5）壁面反作用力的作用，失去了向心力作用的高速旋转液膜层，破裂为许多沿直线飞散的液滴，直径小于100微米的液滴表面积增加1240倍，因为换热面积足够大。可保障液体中没有气体组分存在。离心气液分离区长度L与涡管直径D之比 $L/D \leq 1$ ，切向式喷嘴离心气液分离区（5）喷口直径 $D_4=0.6D$ ；喷口直径 D_4 最小， D_4 是狭窄环槽液体出口（6）的d边， D_3 是狭窄环槽液体出口（6）的C边， $D_4 < D_3$ 高速旋转的液膜层失去了向心力作用，破碎为沿直线飞散的液滴，形成雾化锥，本专利不受雾化锥角影响，可保障在离心气液分离区（5）以内回收全部合格液体。可保障液体不被高速旋转气流带到湍流热区蒸发掉，可保障液体中不能有气体组分混入，从而实现完美的气液分离。

图3是超声涡管气液分离器整体结构示意图（1）进气口、（2）弯道渐缩喷嘴、（3）狭窄槽旋转室、（4）冷流出口、（5）离心气液分离区、（6）狭窄环槽液体出口、（7）隔热垫圈、（8）涡管、（9）扩压器、（10）、热流出口。

除去液体的高速旋转气流，旋向涡管（8）的湍流热区，能量由中心向外扩散，中心处逐渐变冷外层气体变热，5-10D涡管直径处管壁温度最高，为了隔离湍流热量传导，在狭窄环槽液体出口（6），喷口下游设置隔热垫圈，（7）高速旋转的热气体在扩压器（9）中气体动能转换为压力，热气体从热流出口（10）引出；涡管中心的冷气体由狭窄槽旋转室（3）的d边中心部位，冷流出口（4）引出，可用于预冷原料气除去原料气中的重组分或冷却液体。冷流出口（4）引出45~55%冷气体时冷流出口（4）温度最低，热流出口（10）引出75~90%热气体时，热流出口（10）温度最高。

具体实施方式：在涡管离心气液分离器应用之前，以回收轻烃为例，在不回收乙烷的情况下，过高追求丙烷收率是不经济的，丙烷收率一般为70-80%，为达到两烷收率70~80%，制冷温度一般-80~-90°；常采用双

级膨胀或丙烷外冷加膨胀，工艺流程搞的很长。美国田纳西油田涡管应用的实例说明，在相等的能耗膨胀比 $3.87/0.8 \cong 4.838$ ；原料气组分丙烷 15.34%；丁烷 4.09%；戊烷以上组分 0.41%；透平膨胀机冷凝相分离丙烷收率 44.7%；涡管离心分离两烷收率高达 86%，涡管工艺流程简单，随着电算程序的普及，国内工程设计分公司设计水平相当高。只需原料气预冷，干气复热冷量分离去除原料气中戊烷以上较重组分再进涡管离心气液分离器。

本专利超声涡管离心气液分离器，采用普朗特 __ 迈耶简单膨胀波和集中膨胀波将现有技术马赫数 $M \cong 1.2$ 等熵地提高到工艺流程压比对应的马赫数 $M \geq 1.69$ ，达到大幅度提高离心加速度，离心力和制冷效率之目的；降低气液分离区进口区域温度，保障气液离心分离所需足够低的温度来分离液体，从而达到适应原料气组分，压力和膨胀比的能力都很强的效果；涡管内流动液体表面积增加 1240 倍，由于气液换热面积足够大，本专利提供的普朗特 __ 迈耶等熵压缩流动分离结构，可使液体复热，液体中乙烷气体组分含量仅有冷凝法相分离的 1/4；本发明提供的流动分离结构不受气流速度 W 影响，可在气液分离区喷口以内回收全部合格液体，从而实现完美的气液分离——不能有液体被气体带走蒸发掉，不能有气体混入液体。

可使膨胀致冷和相反离合为一体的超声涡管离心气液分离器，可以自上游往下游逐步地把流动构造出来，只要偏转角尚未大到使流动变成亚声速的，这种超声速上游禁讯的性质一直存在。为空气动力学专业大学生所熟悉。涡管加工简单，制造容易。

涡管用于石油气体分离可省去庞大的塔器设备机泵管线阀门，大幅度简化工艺流程以利于预制橇装化；并可增产节能降耗；没有转动零件开工率高于其它机动设备；适用于无电地区 16~20MPa 用于脱水；4.0~8.0MPa; $0.5 \sim 50 \times 10^4 \text{ N M}^3/\text{d}$ 气量回收轻烃；可用于改造国产和引进的部分浅冷装置，丙烷收率从 25~65% 提高到 70~86%；也可用于其它气体冷冻和液化。

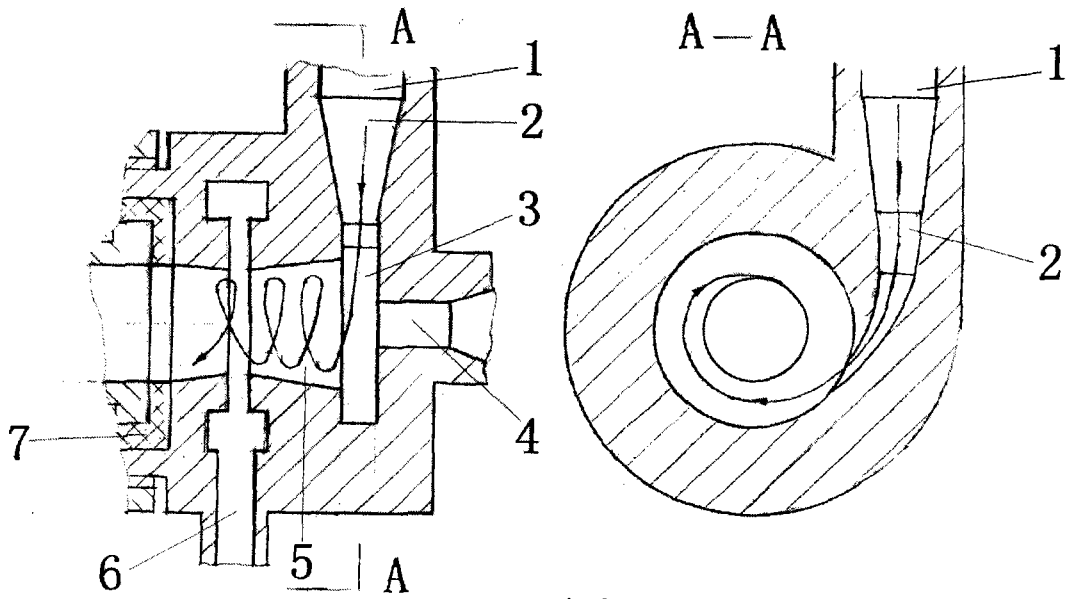


图1

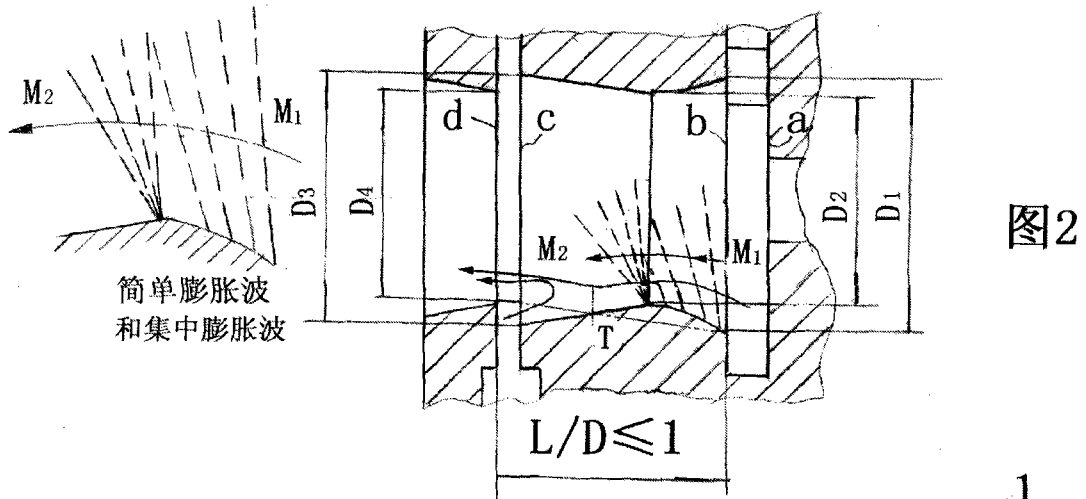


图2

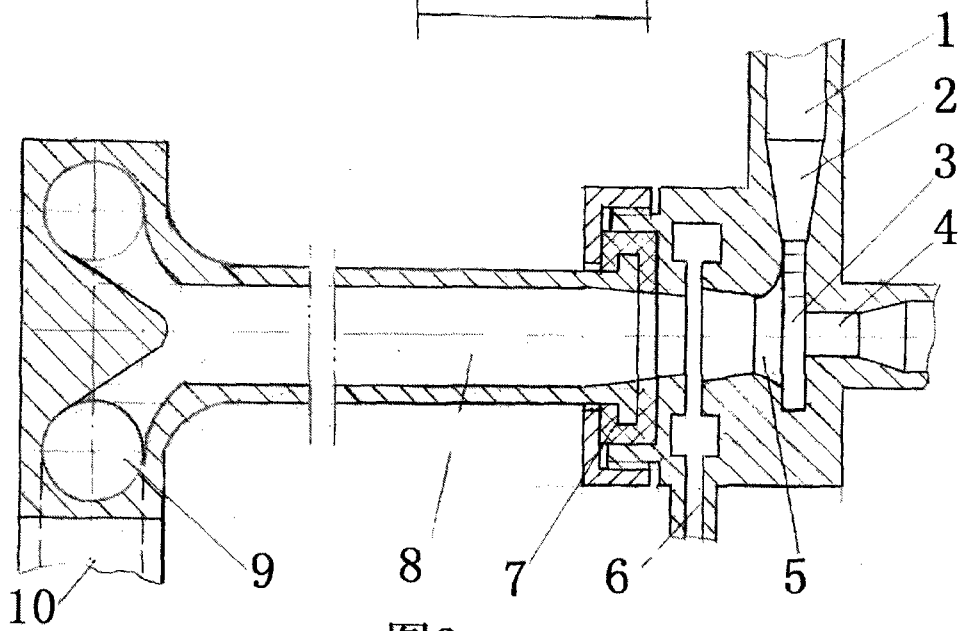


图3