

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



[12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200480013418.0

[51] Int. Cl.

F16L 11/12 (2006.01)

A61F 2/06 (2006.01)

F16L 9/00 (2006.01)

E21B 17/18 (2006.01)

[45] 授权公告日 2009 年 9 月 2 日

[11] 授权公告号 CN 100535497C

[22] 申请日 2004.3.18

US5553976A 1996.9.10

[21] 申请号 200480013418.0

WO00/38591A2 2000.7.6

[30] 优先权

CN2203390Y 1995.7.12

[32] 2003.3.18 [33] GB [31] 0306179.3

US6343516B1 2002.2.5

[32] 2003.3.18 [33] GB [31] 0306180.1

US6039754A 2000.3.21

[32] 2003.3.18 [33] GB [31] 0306176.9

审查员 朱 涛

[86] 国际申请 PCT/GB2004/001170 2004.3.18

[74] 专利代理机构 北京市柳沈律师事务所

[87] 国际公布 WO2004/083706 英 2004.9.30

代理人 魏晓刚 李晓舒

[85] 进入国家阶段日期 2005.11.16

[73] 专利权人 帝国大学改革有限公司

地址 英国伦敦

[72] 发明人 科林·G·卡罗

尼古拉斯·V·沃特金斯

菲利普·L·伯奇 马格迪·亚库布

[56] 参考文献

权利要求书 2 页 说明书 11 页 附图 4 页

[54] 发明名称

多相流动的管子和管道

[57] 摘要

提供了用于进行多相流动的管子或管道。该管子或管道带有引起涡流流动的装置使该流动的密度较大的成分趋向该管子或管道的外壁，而密度较小的成分趋向该管子或管道的中心。这样，该流动有“离心”作用，可防止较轻或较重的流动成分积存在该管子或管道的上部或下部区域中，并可减少气锁等危险。最好，该管子或管道为振幅小的螺旋线的螺旋线形式。



1. 一种管子(1, 68), 其为表现为竖管、流线、海底管子、表面管子或在油井头部下面的管子形式的油井生产管子; 血液流动管子; 用于输送悬浮液和/或稀浆的输送管子; 或用于在气体中输送粉末悬浮物的输送管子,

所述管子(1, 68)具有当流体沿着管路流动时, 在多相流动中引起涡流流动, 使多相流的密度较大的成分趋向管子的外壁, 而该多相流的密度较小的成分趋向该管子的中心的特点, 其中, 该管子的中心线(40)遵循一条基本上螺旋线的途径, 该螺旋线的振幅(A)小于或等于该管子的内径(D_I)的一半。

2. 如权利要求1所述的管子, 其特征为, 该管子具有螺旋线的多个圈。

3. 如权利要求1的管子, 其特征为, 沿着该管子的长度, 该螺旋线的振幅(A)基本上相同。

4. 如权利要求1的管子, 其特征为, 沿着该管子的长度, 螺旋角(θ)基本上相同。

5. 如权利要求1的管子, 其特征为, 螺旋角(θ)小于或等于65°。

6. 如权利要求1的管子, 其特征为, 螺旋角(θ)小于或等于45°。

7. 如权利要求1的管子, 其特征为, 螺旋角(θ)小于或等于25°。

8. 如权利要求1的管子, 其特征为, 沿着其长度, 该管子的横截面积基本上为常数。

9. 如权利要求1的管子, 其特征为, 该管子在管壁上没有螺旋线隆起部分或槽, 并且没有从管壁向内伸出的导向叶片。

10. 如权利要求1~9中任一所述的管子的用途, 用作油井生产管子。

11. 如权利要求1~9中任一所述的管子的用途, 用作竖管、流线、海底管子、表面管子或在油井头部下面的管子。

12. 如权利要求1~9中任一所述的管子的用途, 用作血液流动管子。

13. 如权利要求1~9中任一所述的管子的用途, 用于输送悬浮液和/或稀浆。

14. 如权利要求1~9中任一所述的管子的用途, 用于在气体中输送粉末悬浮物。

15. 如权利要求1~9中任一所述的管子的用途, 用于输送多相石油。

16. 如权利要求 1~9 中任一所述的管子的用途，用于输送气体，液体碳氢化合物和水的混合物。

17. 一种在外壳体内部的油井生产管子，其中，该油井生产管子的中心线（40）遵循一条基本上螺旋线的途径，从而引起在多相流动中的涡流流动，该螺旋线的振幅（A）小于或等于该油井生产管子的内径（D_I）的一半。

18. 如权利要求 17 的油井生产管子，其特征为，该螺旋线的振幅（A）小于或等于该油井生产管子的内径（D_I）的 0.25 倍。

19. 如权利要求 17 的油井生产管子，其特征为，该螺旋线的振幅（A）小于或等于该油井生产管子的内径（D_I）的 0.15 倍。

20. 如权利要求 17 所述的油井生产管子，其特征为，该油井生产管子具有螺旋线的多个圈。

21. 如权利要求 17 所述的油井生产管子，包括多个单独长度的具有螺旋中心线的管子。

22. 如权利要求 21 的油井生产管子，其特征为，该油井生产管子在管壁上没有螺旋线隆起部分或槽，并且没有从管壁向内伸出的导向叶片。

23. 如权利要求 17~22 中任一所述的油井生产管子的用途，用作竖管。

24. 如权利要求 17~22 中任一所述的油井生产管子的用途，用作海底管子。

25. 如权利要求 17~22 中任一所述的油井生产管子的用途，用作表面管子。

26. 如权利要求 17~22 中任一所述的油井生产管子的用途，用作在油井头部下面的管子。

27. 如权利要求 17~22 中任一所述的油井生产管子的用途，用于输送多相石油。

28. 如权利要求 17~22 中任一所述的油井生产管子的用途，用于输送气体，液体碳氢化合物和水的混合物。

多相流动的管子和管道

本发明涉及在多相流动中使用的管子和管道。

多相流动是众所周知的，它发生在管子或管道中的流动不是由单一的均匀的流体构成时。多相流动的例子为气体/液体，液体/固体(例如悬浮液和稀浆)，气体/固体(空气中夹带的粉末)，二种不能混合的液体(例如油和水)，不同温度下的液体等。

多相流动可以导致出现严重的问题。一个主要的问题是，各个相通常密度不相同。例如，气体(密度比液体小)可以积存在携带气体/液体混合物的基本上水平的管路的上部。如果携带该流体的管路沿着其长度不是完全水平，则这可以产生问题。如果沿着管路的长度有波浪形，则气体可以积存在该波浪形的上部，并导致形成气锁。同样，二种不能混合的液体中的密度较大的液体可以集中在管路的下部，并导致同样的锁定。

这些问题在碳氢化合物(油和气体)提取工业中特别严重。在这种工业中，日益普遍的作法是垂直地钻井，然后引导钻头至基本上水平的取向。一个典型的井可以垂直穿透至地里几公里，然后具有几百米的水平部分。这种形式的钻井可以使用一个单一表面位置在一个宽广的区域上，而不是只在表面位置下面达到储油层构造。另外，油井的水平部分可以用来达到碳氢化合物储油层的水平隔开的格层。

还有一种日益普遍的作法是从深的高压/高温储油层中提取碳氢化合物，在这种储油层中存在称为气体凝结物的液体形式的低分子量碳氢化合物。由于成本高，这种储油层利用水平的生产井排油。

一个典型的储油层可以包含位于水上面的液体碳氢化合物。该油井的水平部分沿着液体碳氢化合物层延伸。流体从该层通过在选择的点上作出的壁穿孔运动进入油井孔中。在该选择的点上，流体进入低压状态。液体碳氢化合物分离成气体和液体碳氢化合物，而水经常包括在进入油井的混合物中。气体相可以是占主导地位的，而液体碳氢化合物和水为辅助相；或者，液体碳氢化合物可以为占主导地位的，而气体和水为辅助相。在任一情况下，油井必需输送通常由气体和二种不能混合的液体组成的多相流体。

实际上，该水平油井部分在其长度上很少是精确地水平的。在开始钻井过程中，形成一个基本上波浪形的水平井。这造成在水平油井部分形成一个平缓的U形弯道。从外面看该油井时，这些弯道为向上凸起的U形弯道和向上凹形的U形弯道形式。当多相流体沿着油井流动时，相产生重力分离是不普遍的。水聚集在任何向上凹的U形弯道的底部，而气体可以集中在向上凸的U形弯道的顶部。

如水充满U形弯道，则流动被阻塞。当形成太多稠密的流体时，油井生产停止。气体的积存可以导致地形引起的迟滞。当气泡集中在管路的壁上，完全堵塞流动时，就产生迟滞。接近这种堵塞地方的液体可提高气体的压力，当压力达到一定点时，该堵塞地方突然偏移。这种流动的突然重新开始(或“爆发”)在管路和任何下游的管路或设备上产生大的冲击负荷，可以造成严重的损坏。

可以将一台潜水泵配置在油井中，以抽取水。但这需要时间，并且生产可以停止几天或更长。另外，当碳氢化合物储油层排油时，液体中的水含量可以增加，造成更经常的出现油井阻塞。虽然，该过程在水平油井中是最普通的，但在任何多相油井中都可以成为一个问题。另外，使用潜水泵不能解决地形引起的迟滞的问题。

水积存造成的另一个问题是矿物质沉淀在油井中，这也可导致阻塞或堵塞。另外，水的存在可导致紊流，这可导致在管路中出现滞流或死区。(矿物质或碳氢化合物的)沉淀和沉积在这些区域中也更易发生。

多相生产油井中的另一个问题发生在油井的低温和低压上部区域中，特别是在海底油井头部与生产容器或平台连接的海底取油管中。在这种条件下，气体可形成大的气泡，这可造成严重的迟滞。另外，大的气泡大大增加油井内的压力损失，这样将阻碍生产。

另一个形成气锁等是极其不希望的特殊情况是在心脏手术过程中使用的管子中。

在开放心脏外科手术中，病人的心脏停止。为了保持循环，通常将血液从右心房抽出，通过一台泵和充氧装置，然后回到主动脉，以便围绕着病人的身体循环。

当从病人心脏抽出血液时，空气可以带入血液中，并在从病人通向该泵和充氧部件的管子中形成气泡。在充氧过程中，氧气泡也可在血液中形

成。

另外，在一般外科手术(不需要打开心脏)中有一种趋势是减少使用的捐献的血量。病人自己的血液再循环，和用于收集病人血液的收集装置也容易带入空气，形成气泡。

显然，在将血液送回病人之前，必需从血液中除去气泡。通常在管子中设有气泡收集器，可以进行这种除去气泡的工作。

然而，气泡有一个众所周知的问题，即它可积存在连接病人，泵和充氧装置的管子中。虽然，在管子上开一个孔可以释放气泡，但没有注意的形成气泡可以导致堵塞，并且(如果不处理的话)会使血液供给中断，造成极其严重的后果。

根据本发明的第一个方面提供了一种管子或管路，它具有当流体沿着该管道流动时，在多相流动中引起涡流流动，使多相流的密度较大的成分趋向管子或管道的外壁，而该多相流的密度较小的成分趋向该管子或管道的中心的特点。

实验发现，涡流流动在多相流动中有许多很好的优点。在多相涡流流动中，在基本上为螺旋形的通道中流动较轻的部分(例如气体和密度较小的液体)沿着管道的中心流动，而流动的较重的部分(密度较大的液体)，沿着管壁流动，这是由涡流流动的离心作用引起的。结果，较轻或较重的部分在重力作用下分离的趋势大大减小。

涡流流动在多相流动中有许多很好的优点。因为较轻或较重的部分在重力作用下分离的趋势减小，因此产生气锁的危险大大减小。同样，密度较大的液体不聚集在管道的下部，因此这样产生流动破坏的危险减少。

现参照油井生产管子说明这些优点。如上所述，已知的油井生产管子的水平部分可以在水平方向以及垂直方向成波浪形。在油井中这样产生的弯曲的曲率很小，对沿着油井的流体流动性质的影响可以忽略不计。该流动(当然假设不阻塞)可认为是具有在直管中的流动特性。该流动正常情况下为紊流，但根据已知的管路流体力学，在靠近固体边界，即管子的内壁处有薄的层流层。对于较慢的流动速度，流动可以为层流。在二种情况下，在直管流动中的轴向速度分布在管子中心处为最大，靠近管壁速度较慢。

涡流流动的一个效果是，在管子横向的流动的轴向速度分布更均匀或“更钝”，靠近管壁的流动速度比在直井生产管子中的相同的流动块。在管

子中心的流动比在直管情况下慢。因为较钝的速度分布，在该管子中流动的流体以柱塞方式作用，这可减少水或其他密度较大的流体在该管子的低的点上的积存(向上凹的 U 形弯道)和气体在高点上的积存(向下凸的 U 形弯道)。

涡流流动的另一个主要好处是促进多相流动中的混合。在油井生产管子中，气体，液体碳氢化合物和水趋于混合，因此液体沿着管子积存的趋势减少。更好的混合和管壁附近较高的流动速度还可减少固体沿着油井，沉积在低点或矿物质沉淀的机会。

这在气泡可以聚集的油井的较高部分也很重要。涡流流动的混合作用可以增加相的混合和防止形成大的气泡。促进涡流流动不是仅在水平油井部分中，而且在陡峭的油井，例如垂直或与水平方向成 45° 的油井中也有好处。

然而，当流体沿着本发明的管子轴向流动时，如果多相流体流动的成分不混合，则密度较大的成分靠近管壁，围绕着管子转动，而密度较小的成分更靠近中心转动。这种“离心”现象有助于减小水在管子的低点的积存和减少气体在高点的积存。

所有这三个因素(较钝的速度分布，改善的混合和“离心”作用)都被认为可改善多相涡流流动的流动特性。

这里所述的油井生产管子包括任何多相传输管子。在石油生产中，它包括在油井头部下面的管子，任何表面流线 (flow lines)，竖管 (risers) 和输送和/或加工多相石油的任何管子。

沿着管子或管道引起涡流流动的装置可由在管子或管道壁上的螺旋线隆起部分或槽，或从管壁向内伸出的导向叶片组成。然而，这不被认为是一个最优的解决办法，因为这种装置本身形成障碍或形成材料可以积存的滞流区域。另外，形成隆起部分，槽，叶片等可增加湿周与管子横截面积之比。这可导致流动阻力增加和压力损失，或者相反，可减少在给定压头下的流量。

另外，实验表明，除非雷诺数非常低，隆起部分，槽或这种形式的叶片只对管壁附近的流动有影响。为了保证在管道的整个宽度上流动成为涡流，必需提供一个长管。在管道中心的涡流只有通过动量从管壁处的流动扩散传递才能达到。该隆起部分，槽或叶片不会促使管壁附近的流体与管

道中心的流体之间的混合。

另一种可能是该管子具有扭转的非圆形的横截面。然而，偏离圆形会增大湿周与横截面积之比，这是不希望的。另外，这样不能有效利用空间。

因此，最好管子的中心线遵循着一条基本上为螺旋形的通道。

在上述使用槽或隆起部分或非圆形截面的可能的实施例中，如果管子基本上是直的，则管子的中心线也是直的。使用带有螺旋形中心线的管子可引起涡流和促使管壁附近的流体与核心的流体，比在带有直的中心线的管子中使用螺旋形槽或隆起部分更好的方式进行混合。在具有螺旋形中心线的管子的情况下，涡流结构在空间重组，造成轴向流动的核心或多个核心在管子部分的截面横向运动，促进在横截面上的混合。涡流可阻止湍流和流动分离区域的发展，并稳定流动，并如上所述，产生“离心”作用。

另外，根据该优选实施例，如果管子的中心线遵循一条基本上为螺旋线的通道，则管子可以有圆形横截面，因此湿周与横截面积之比小，不会对流动形成障碍。该管子仍具有引起螺旋形或涡流流动的必要特性。然而，也可能有这种情况，即中心线为螺旋形的管子具有非圆形的横截面是理想的。

通常，油井生产管子安装在一个外壳体内面。因此，该管子必需占据一个小于或等于该外壳体的内径的偏移宽度。在优选的螺旋形管子(即中心线遵循一条基本上为螺旋形通道的管子)的情况下，如果螺旋形的振幅大，则供流体流动用的横截面积相应地小。因此，最好该螺旋线的振幅足够大，以便引起涡流流动，但又足够小，以便该管子占据尽可能多的横截面。满足这些指标的第一个指标的振幅的优化取决于诸如流体粘性，密度和速度一类的因素。

在这个说明书中，螺旋线的振幅是指从中间位置至横向极端的位移的大小。因此，在中心线为螺旋形的管子的情况下，该振幅为螺旋形中心线的全部横向宽度的一半。

最好，该螺旋线的振幅小于或等于管子内径的一半。在这种情况下，与螺旋线围绕核心(实心或带有空气核心的“虚拟的”)卷绕的螺丝起子结构的情况不同，沿着管子的腔有一条“视测线”。在该视测线上，流动一般都有涡流成分，即使可能沿着一个直的通道流动。

在本说明书中，术语“螺旋形管子的相对振幅”为振幅被内径除。因

此，在螺旋形管子的振幅小于或等于管子内径的一半的优选实施例中，这表示该相对振幅小于或等于 0.5。最好，相对振幅小于或等于 0.45, 0.40, 0.35, 0.30, 0.25, 0.20, 0.15, 0.10 或 0.05。相对振幅较小可以更好地利用侧向空间，即在圆柱形外壳体中的螺旋形管子的情况下，该管子和该外壳体之间的不使用的空间少。较小的相对振幅还可使“视测线”较宽，可提供更多的空间可沿着管腔插入压力表或其他设备。当雷诺数较高时，在将涡流流动引起至满足程度的同时，可以使用较小的相对振幅。这基本意味着，对于给定的管路内径，当流量大时，可以使用小的相对振幅也足够引起涡流流动。

当希望流动的横截面积大时，螺旋角也是平衡对油井生产采油管的空间约束的一个相关因素。螺旋角小于或等于 65° 较好，最好是小于或等于 55° , 45° , 35° , 25° , 20° , 15° , 10° 或 5° 。与相对振幅一样，该螺旋角可以根据流体的粘性，密度和速度等条件优化。

一般来说，对于较大的雷诺数，螺旋角较小也可得到满意的涡流流动，而雷诺数较小时，需要更大的螺旋角才能产生满意的涡流。对于较快的流动使用较大的螺旋角(较大的雷诺数)，一般是不希望的，因为在管壁附近可能形成滞流流体腔。因此，对于一个给定的雷诺数(或雷诺数范围)，最好该螺旋角选择得尽可能小，以产生满意的涡流。在一些实施例中，该螺旋角小于 20° 。

一般，该管子可以有多个螺旋线圈。沿着管子重复螺旋线圈可保证维持涡流流动。然而即使在引起螺旋形涡流部分的下游设有直的管道部分，该涡流流动要经过一定距离才消灭，因此，作为将整根管道作成螺旋形部分的替代方案，可以沿着管道的长度设置多个螺旋形管子或管道的单独长度。这些部分起“重复器”的作用。每一个部分可在通过它的流体中引起涡流流动，但当该流体沿着直管通过时，这种涡流流动会消灭。设置多个“重复器”可以重新建立涡流流动，这会随之带来好处。

同样，在管道配件(例如，弯头，T 或 Y 形接头，阀等)之前，可以设置螺旋形部分，使得在流动达到这些配件之前，建立涡流流动。

通常，管子的长度作成沿着长度的相对振幅和螺旋角基本上相同。当铺设或使用管子时，可能有由于拉伸负荷或由扭转负荷引起的造成管子的伸长或收缩引起的微小变化。然而，该管子可以具有变化的螺旋角和/或相对振幅，以适应空间约束或优化流动条件。为了制造简单，最好该管子沿

着其长度的横截面积固定不变。另外，可以有在使用中由在管子上的负荷造成的变化。

同样，通过如上所述的形成心脏手术机用的管子，使流体在管子中以涡流流动方式流动可以获得很好的优点。离心作用表示血液中的空气或气泡将停留在管子的中心附近，而不是积存在管子的较高点上，和导致可能的堵塞。如上所述，气泡将沿着管子流动，并在气泡收集器中被除去。

现在参照附图，利用例子，说明本发明的优选实施例。其中：

图 1 为根据先前技术的用于碳氢化合物提取的长距离水平油井的示意图；

图 2 为图 1 的油井的一部分的放大图；

图 3 为与图 2 相同的，但表示在根据本发明的油井中使用管子的图；

图 4 为表示根据本发明的，在实验中使用和设计产生涡流流动的管子的正视图；

图 5 为与图 4 相同，但表示另一个实验的图。

虽然，以下的说明集中在碳氢化合物提取中使用多相涡流流动，但多相涡流流动提供的优点可以在产生多相流动的许多其他情况中获得。

图 1 和 2 表示根据已知的方法用于碳氢化合物提取的长距离水平油井的使用。一个油井生产采油管 50 垂直地穿透，从油井头部 52 进入地面上，并在需要的深度上弯曲成圆形，达到基本上为水平的取向。油井采油管钻入的结构包括一个储油层结构 54，它由断层 56 分隔成不同的区域。该储油层结构包括位于水层 62 上的一个液体碳氢化合物层 60。

该油井生产采油管 50 包括带有穿孔 66(见图 2)的部分，该穿孔可使流体在箭头 64 所示的方向上进入油井生产采油管中。

钻这种油井的一个已知过程如下。将第一部分钻至特定的深度，并且第一个外套管部分跟着钻井向下，并固定就位。再钻油井的下一部分，并将另一个套管部分送至先前安装的部分下面，也固定就位。该过程继续，使得当油井的长度增加时，依次的外壳体部分的直径减小。最后，钻出油井所希望的总长度，并用外套管部分衬里。

根据现场地质情况，在相应的点上设有射孔枪 70 的管子 68 插入在油井下面。点燃射孔枪，从而形成通过该外壳体 72 的穿孔 66。可使液体碳氢化合物通过该穿孔 66，从储油层 60 进入油井生产采油管 50 中。通常，在

油井中的流体由气体，油和水的混合物组成。多相流体沿着油井生产采油管 50 流向表面。从图 2 可看出，油井的水平部分不是完全的水平，具有多个平缓的 U 形弯道，这些弯道有向上凹下的和向上凸起的。

图 2 表示集中在一个向上凹下的 U 形弯道中的水池 74。最后，水池会充满该 U 形弯道，并造成沿着油井阻塞流动的堵塞。

如上所述，使流体在采油管中作涡流流动，通过防止气体和水积存在该采油管中，可避免这个问题。现参照图 4 和图 5 说明涡流流动的特性和达到涡流流动的具体方法。

图 4 所示的管子 1 的横截面为圆形，其外径为 D_E ，内径为 D_I 和壁厚为 T 。该管子卷绕成固定振幅 A (从中线至极端测量)，固定节距 P ，固定螺旋角 θ 和偏移宽度 W 的螺旋形。该管子 1 放置在一个纵向延伸和其宽度等于该螺旋线偏移宽度 W 的假想的包络 20 中。该包络 20 可以认为具有一个中心的纵轴线 30，该轴线又称为螺旋转动的轴线。所示的管子 1 具有一条直的轴线 30，但在油井生产管子中，该中心轴线经常具有大半径的弯曲(因此形成 U 形弯道)。该管子具有一条中心线 40，其遵循围绕该中心纵轴线 30 的一个螺旋形通道。

可看出，该振幅 A 小于管子内径 D_I 的一半。通过使该振幅保持在这个尺寸以下，由该管子占据的侧向空间和该管子的总长度可以保持较小，同时，该管子的螺旋形结构可促进沿着该管子的流体的涡流流动。这也沿着管子形成相对较宽的腔，使工具装置等可以向下通过该管子。

例 1

利用图形横截面的聚氯乙烯管进行实验。参考图 4 所示的参数，该管子的外径 $D_E=12\text{mm}$ ，内径 $D_I=8\text{mm}$ ，壁厚 $T=2\text{mm}$ 。将该管子卷绕成节距 P 为 45mm ，螺旋角 θ 为 8° 的螺旋形。通过将该管子安放在二个直的边缘之间，和测量该直的边缘之间的空间，确定振幅 A 。将该外径 D_E 从该偏移宽度 W 减去，确定该振幅：

$$2A = W - D_E$$

$$W - D_E$$

$$\text{因此 } A = \frac{W - D_E}{2}$$

在这个例子中，偏移宽度 W 为 14mm ，因此

$$W-D_E \quad 14-12$$

$$A = \frac{2}{2} = \frac{2}{2} = 1 \text{ mm}$$

如上所述，“相对振幅” A_R 定义为

$$A_R = \frac{A}{D_I}$$

在这个例子的情况下，可得

$$A_R = \frac{A}{D_I} = \frac{1}{8} = 0.125$$

水沿着该管子通过，为了观察流动特性，使用径向穿过该管壁的二支针 80 和 82，将可看见的染料注射在流动中。注射地方接近该中心轴线 30，即在流动的“核心”处。一支针 80 注射红墨水，另一支针 82 注射兰墨水。从图 4 中可看出，墨水丝 84 和 86 互相缠绕，表示在核心处有涡流流动，即基本上为螺旋形的流动。图 4 所示的实验是在雷诺数 $R_E=500$ 下进行的。在另二个实验中，分别使用雷诺数为 250 和 100，也观察到核心的涡流流动。

例 2

除了针 80 和 82 配置成使墨水丝 84 和 86 靠近管子的壁以外，这个例子的参数与例 1 相同。图 5 表示墨水靠近管壁放出，雷诺数分别为 $R_E=500$ 和 250 的二个实验的结果。可看出，在二种情况下，墨水丝都是螺旋形管子几何形状，表示管壁附近有涡流。另外，可促进墨水丝与水的混合。

例 3

在一个单独的研究中，将在内径为 8mm 的直管中的流动与内径为 8mm，相对振幅为 0.45 的一个螺旋形管中的流动进行比较。在二种情况下，雷诺数都为 500，并将 0.2ml 的指示剂作为一个团块，通过在上游端的一个细管注入。与指示注入指示剂后经过的时间的一个数字钟一起，拍摄该流动。指示剂的前端到达该直管的下游端比到达该螺旋形管的下游端早，而从该直管的壁清除比从该螺旋形管壁清除得迟。另外，该指示剂在该螺旋形管中比在该直管中，以更紧凑的块运动。所有这些发现表明，在管子的横截面上有混合，和在该螺旋形管中，速度分布图是钝的。

例 4

这个例子的实验包括在螺旋形管子中的多相流动与在具有一条中心线，后面存在一个单一平面上基本为正弦形通道的管子中的多相流动的比较。在螺旋管子(三维的，即 3D 管子)的情况下，内径为 8mm，外径为 12mm，偏移宽度为 17mm，给出相对振幅为 0.3125。节距为 90mm。在平面的波形管子(二维的，即 2D 管子)的情况下，内径为 8mm，外径为 12mm，在波形平面中测量的偏移宽度为 17mm。节距为 80mm，与 3D 管子的情况差别不大。固定该 2D 管子，使其基本上为正弦形的中心线在垂直平面中，形成向上的凸起和凹下的 U 形弯道。

3D 和 2D 管子的长度都为大约 400mm，在每一种情况下，给出 4~5 个节距。在两种管子中，研究是利用 450ml/min 和 900ml/min 的水流量进行的(雷诺数分别为 1200 和 2400)。在所有情况下，利用一支针，以 3ml/min 的流量，即在 450ml/min 的情况下为水流量的 0.66%，在 900ml/min 的情况下，为水流量的 0.33% 导入空气流。空气从压缩空气管路来，并且在相应的 3D 和 2D 几何形状的开始处的上游，注入管子中。

在雷诺数为 1200，利用 3D 管子进行实验的情况下，气泡的尺寸大约为 2~3mm，并沿着管子快速通过。在雷诺数 2400 时，气泡较大，约为 5~7mm，但仍沿着管子运动，没有粘附的趋势。

在雷诺数为 1200 和 2400，2D 管子的情况下，气泡大，约为 3~5mm，并在向上凸起的弯曲部分(当从管子外面看时)处粘附。

实验表明，在多相流动中，密度较小的流体沿着 3D 管子流动，而在等价的 2D 管子中，密度较小的流体积存在管子的较高部分上。

图 3 表示具有根据本发明的优选实施例的油井生产管子的油井。这个管子是螺旋形的，并且该螺旋形结构引起沿着该管子的涡流(或基本上为螺旋形的流动)。如前所述，这种流动对管道中的流体有离心作用，使得密度较大的材料遵循沿着该管道壁的内面的一条螺旋形通道，而密度较小的材料沿着该管道的中心线流动。这可以防止水池聚集在油井的向上凹的 U 形弯道中。从而大大减小堵塞的机会。该管子还可防止气袋聚集在向上凸起的 U 形弯道中，可减少堵塞的机会。

在碳氢化合物提取过程中，在多相流动中可能产生的另一个问题为“迟滞”。当气体积存在管壁上，达到堵塞流动的程度，就会产生迟滞。如果气

体突然从管壁上获得自由，清除了堵塞，则流动非常突然地重新开始，导致在管道上产生脉冲负荷和可能损坏管道和辅助设备。石油生产平台经常过度地采取工程措施，以对付这种负荷。

利用涡流流动也可以避免这个问题。如上所述，有多相涡流流动中，密度较小的流体(例如气体)趋向管道的中心，因此离开管壁。这些流体不能积存至可以堵塞流动的程度。

在上述的血液流动管子中也可得到同样的优点。当空气和氧的气泡保持在管子的中心附近时，这些气泡与流动的其余部分一起运动，不会积存和堵塞流动。

气泡(或任何密度较小的部分)趋向螺旋形管道的中心这一事实，在减小流动中的气体含量方面还有优点。

在螺旋形管道中的气体/液体多相流动中，气体在管道的中心占据非常小的横截面积。与直管比较，在横截面上的气体浓度(通常在石油工业中称为“气份”)减小。这种减小可以达到 20% 或 30%。(应当注意，在二种管道中，气体流量是相同的，在螺旋形管道中气体流动比在直管中快，以补偿流动的较小的横截面积)。

气体浓度的这种降低对泵是非常有利的。用于液体的泵通常不设计成对付多相流动，在气体浓度高时通常工作不好。利用这种方法，通过使用螺旋形管道，减少在流动中的气体浓度可改善泵的效率。

气体浓度的降低在流动必需通过对单相流动工作较好的装置的其他情况下也是有利的。可以在该装置的上游设置一个螺旋形部分，以保证达到该装置的流体为涡流流动状态，而且该流动中的气体浓度降低。

多相流动得到的另一个有利的效果为减少压力降，与直管中的压力降比较，在利用垂直管道进行的实验中，可得到 10~20% 的减小。压力降的减小还可增加相同压力差的流量，因此可减小泵送流体所需的能量数量。

虽然，以上的说明集中在碳氢化合物提取和血液流动管子可以得到的优点上，然而，本发明的管子和管道可以用在任何多相流动中，以得到上述的涡流流动的优点。特别是，避免诸如相分离一类的重力效果在稀浆和液体中的固体悬浮物的输送中是特别重要的，这经常在食品加工中遇到。另外，在气体中输送粉末悬浮物时也很重要，这经常在药品生产和加工中遇到。

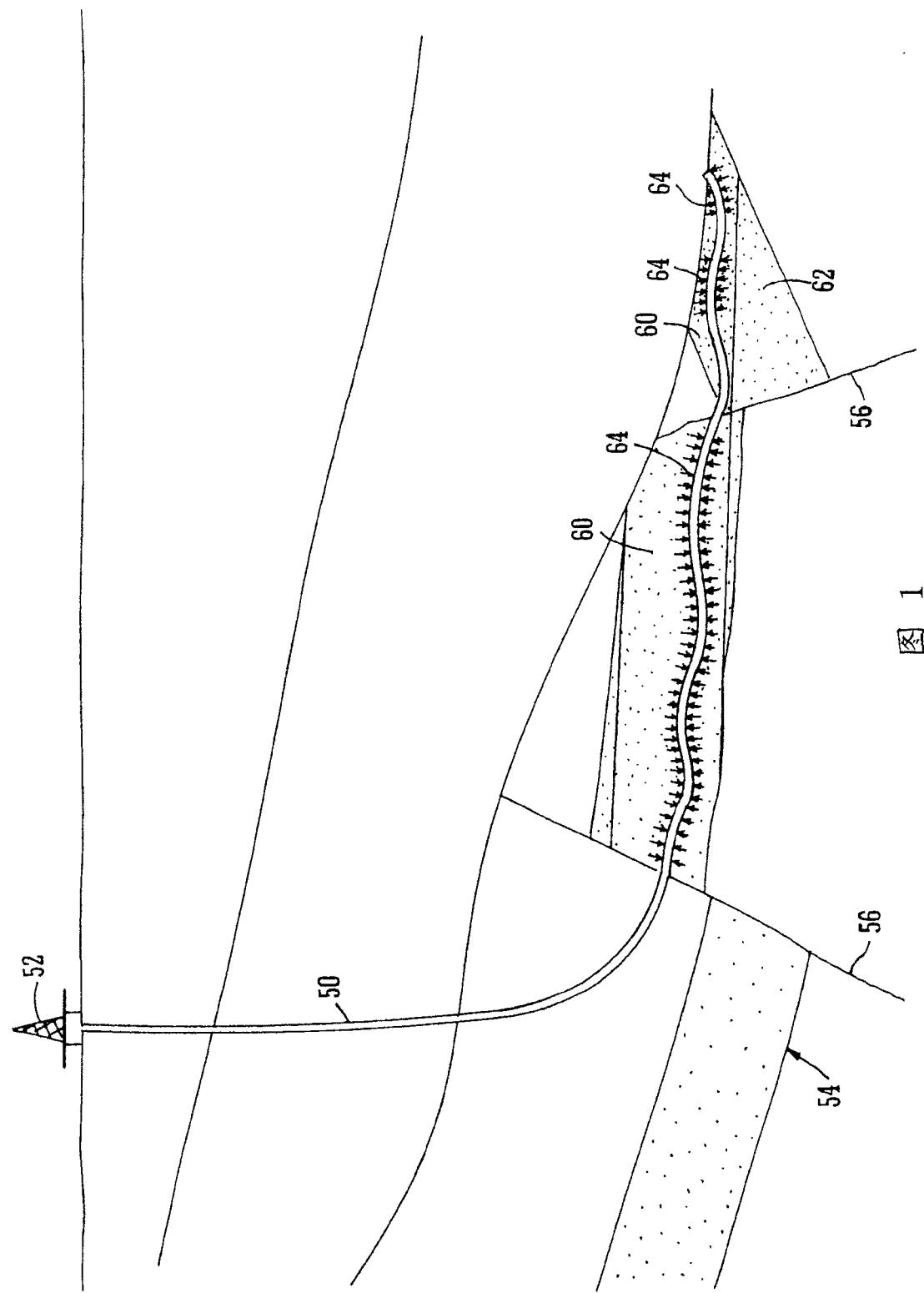


图 1

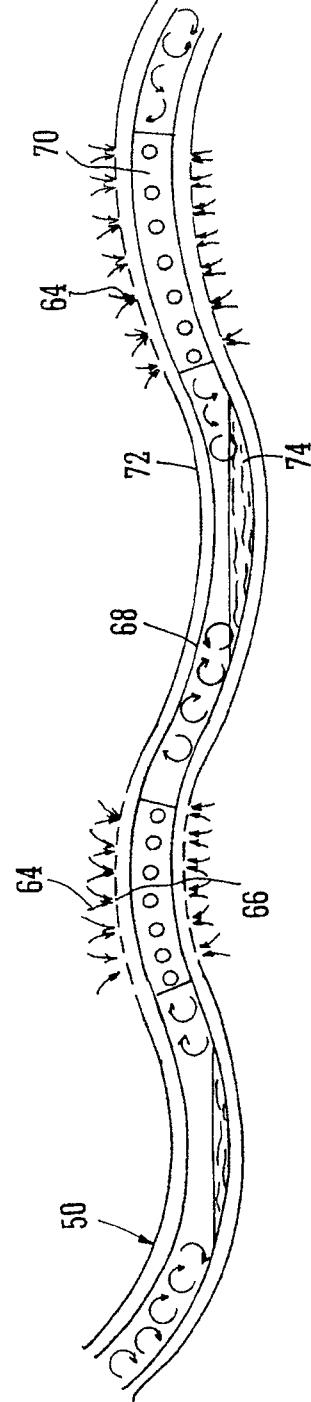


图 2

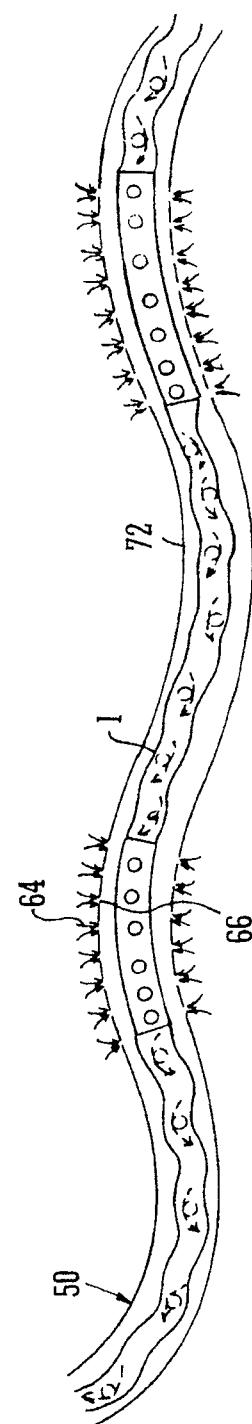


图 3

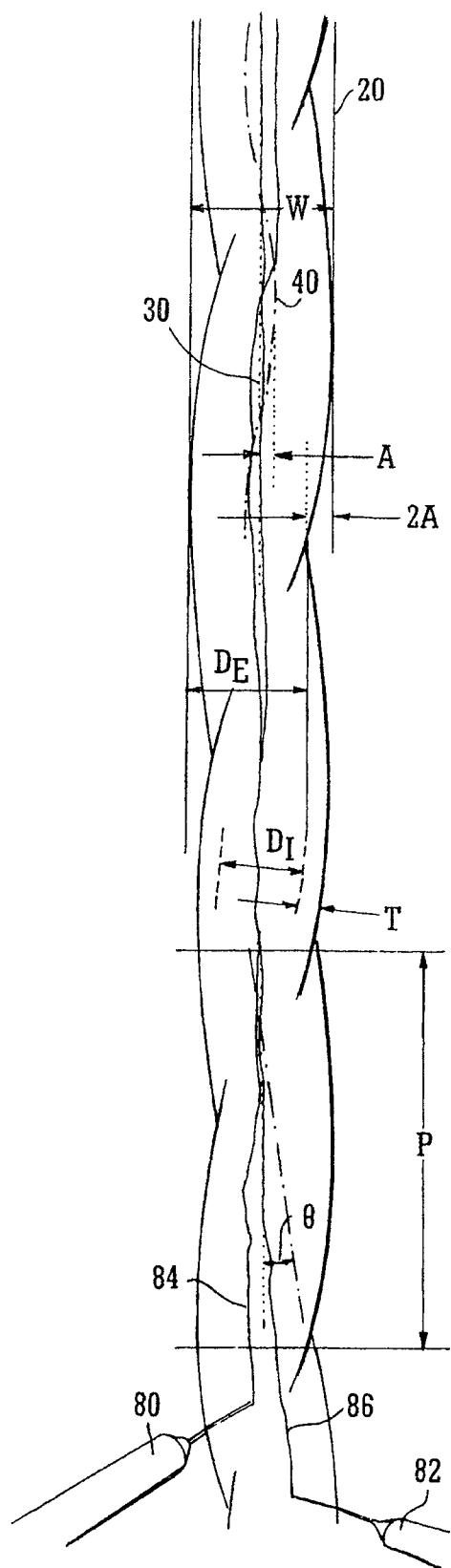


图 4

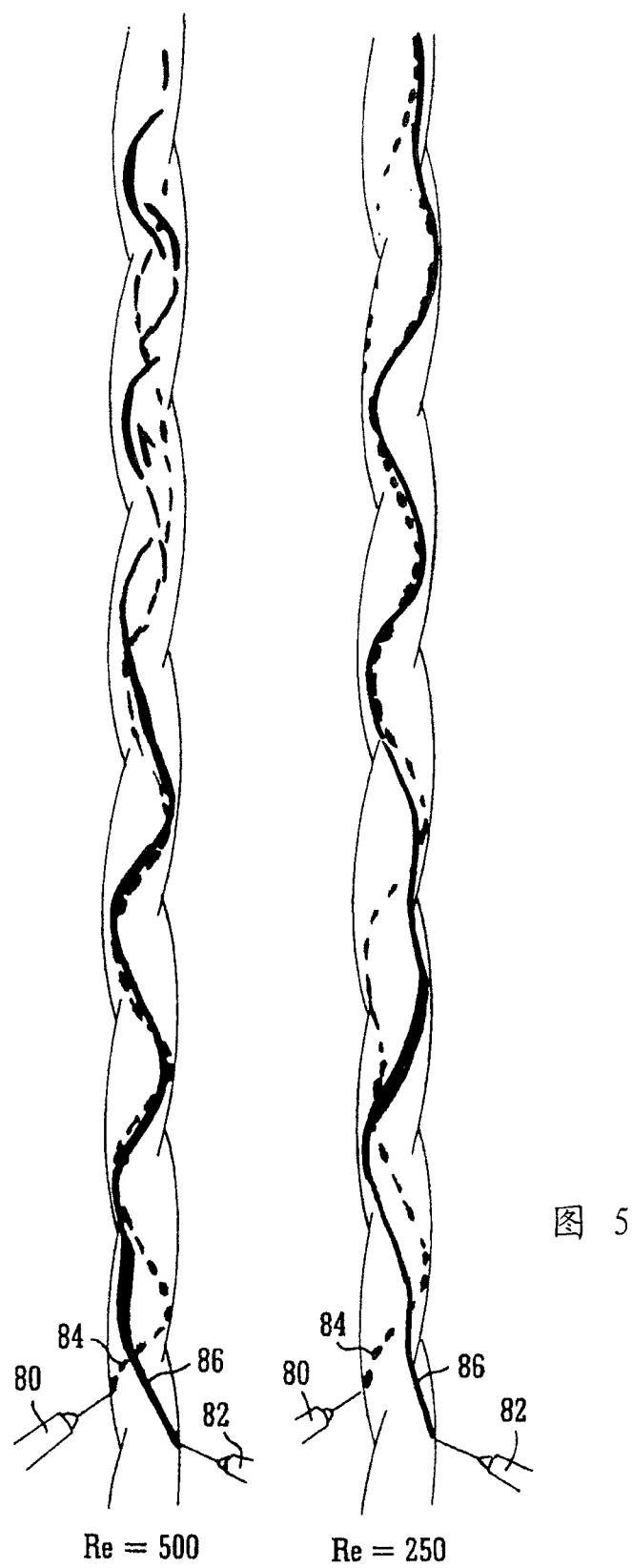


图 5