



## [12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200480036251.X

[43] 公开日 2007 年 1 月 3 日

[11] 公开号 CN 1890454A

[22] 申请日 2004.12.28

[21] 申请号 200480036251.X

[30] 优先权

[32] 2003.12.30 [33] US [31] 10/749,131

[86] 国际申请 PCT/US2004/043785 2004.12.28

[87] 国际公布 WO2005/065334 英 2005.7.21

[85] 进入国家阶段日期 2006.6.6

[71] 申请人 乔西拉公司

地址 美国佐治亚州

[72] 发明人 G·古金

[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 朱德强

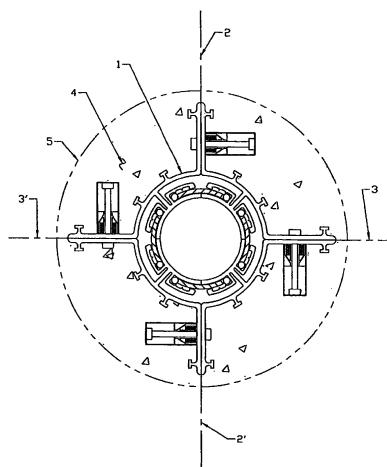
权利要求书 3 页 说明书 13 页 附图 10 页

## [54] 发明名称

不牢固和脆弱粘结的沉积物中的竖直液压裂缝的多方位控制

## [57] 摘要

本发明涉及一种用于在一个单独井眼中在不牢固和脆弱粘结的沉积物中起裂多方位控制的竖直液压裂缝，以控制在不同方位处的起裂和液压裂缝的扩展。多方位竖直裂缝使来自地层的石油流体能够有更大的产量和增加的回收。带有多个起裂区段的注入套管被插入并且灌浆到一个井眼内。携带支撑剂的压裂流体被注入到注入套管，并且张开起裂区段，使在正交于第一裂缝方位平面的方向上的地层膨胀。在第一次裂缝注入完成之后，压裂流体被注入到注入套管，并且张开一组第二和继后的起裂区段，使地层膨胀并使第二和继后的竖直液压裂缝在不同于第一和继后的较早安置的裂缝的方位处起裂和扩展。



1. 一种用于在不牢固的和脆弱粘结的沉积物的地层中形成定向在不同方位的多个竖直液压裂缝的方法，包括：

a. 在所述地层中井眼直到预定深度；

b. 在所述井眼内在预定深度处安装注入套管；

c. 以足够的开裂压力将压裂流体注入到所述注入套管中，以在第一优选方向上使注入套管和地层膨胀，由此在正交于第一膨胀方向的第一方位起裂第一竖直裂缝；以及

d. 以足够的开裂压力将压裂流体再注入到注入套管中，以在不同于第一优选方向的第二优选方向上使注入套管和地层膨胀；

e. 防止压裂流体进入第一竖直裂缝，由此在正交于第二优选膨胀方向的第二方位起裂第二竖直裂缝。

2. 如权利要求 1 的方法，其中所述方法进一步包括：

a. 在井眼中在预定深度处安装所述注入套管，其中在套管的外表面和井眼之间存在环形空间，

b. 用水泥浆填充所述环形空间，所述水泥浆粘结到套管的外表面，其中所述套管具有由弱化线分开的多个起裂区段，以致在开裂压力下所述裂区段沿所述弱化线分开。

3. 如权利要求 2 的方法，其中所述压裂流体使水泥浆和地层膨胀以在地层中在第一弱化线处起裂第一裂缝，继后压裂流体使水泥浆和地层膨胀以在地层中在第二弱化线处起裂第二裂缝。

4. 如权利要求 1 的方法，其中所述压裂流体不从裂缝泄漏到地层中。

5. 如权利要求 1 的方法，其中所述压裂流体包括支撑剂，并且所述压裂流体能够在低流速下携带压裂流体的支撑剂。

6. 如权利要求 1 的方法，其中所述压裂流体干净地清除最小残留物。

7. 如权利要求 1 的方法，其中所述压裂流体具有低摩擦系数。

8. 如权利要求 1 的方法，其中所述压裂流体包括水基瓜尔树胶凝胶浆。

9. 如权利要求 3 的方法，其中所述套管包括具有两个膨胀方向的两个起裂区段，所述第一弱化线和第二弱化线是正交的。

10. 如权利要求 3 的方法，其中所述套管包括具有三个膨胀方向的三个起裂区段。

11. 如权利要求 3 的方法，其中所述套管包括具有四个膨胀方向的四个起裂区段，第一弱化线和第二弱化线是彼此正交的，第三弱化线和第四弱化线是彼此正交的。

12. 如权利要求 2 的方法，其中所述起裂区段在压裂流体使套管膨胀之后保持分开，以提供在液压开裂完成之后第一裂缝和第二裂缝与井眼的液压连通。

13. 如权利要求 2 的方法，其中所述压裂流体包括支撑剂，每个起裂区段包括井筛管区段，所述井筛管区段将液压裂缝中的支撑剂与生产井眼分开，这样在流体抽取过程中防止支撑剂从裂缝流回到生产井眼。

14. 如权利要求 1 的方法，其中所述方法进一步包括每个以前已注入的裂缝的再开裂。

15. 如权利要求 1 的方法，其中所述地层的膨胀是这样实现的，即在第一起裂裂缝所要求的方位处在地层中首先切割竖向槽；以足够的开裂压力将压裂流体注入到所述槽中，以在这个第一优选的方向上使地层膨胀，由此在正交于第一膨胀方向的方位处起裂第一竖直裂缝；在第一裂缝注入之后，通过继后的以足够的开裂压力将压裂流体注入到第二和继后的槽中，所述第二和继后的槽切割在要求的裂缝方位处的地层中，以在与第一和继后的优选方向不同的方位处在第二和继后的优选方向上使地层膨胀，以防止压裂流体进入较早的第一和继后的竖直裂缝中，由此在正交于第二和继后的膨胀方向的方位处起裂第二和继后的竖直裂缝。

16. 在不牢固的和脆弱粘结的沉积物的地层中的井，包括：

- 
- a. 在地层中的到预定深度的井眼；
  - b. 在所述井眼中在预定深度处的注入套管；
  - c. 压裂流体源，用于以足够的开裂压力将压裂流体输送到所述注入套管，以在第一优选方向上使注入套管和地层膨胀，由此在正交于第一膨胀方向的第一方位处起裂第一竖直裂缝，在不同于第一优选方向的第二优选方向上使注入套管和地层膨胀，由此在正交于第二膨胀方向的第二方位处起裂第二竖直裂缝。

17. 如权利要求 16 的井，其中所述注入套管进一步包括：

- a. 由弱化线分开的多个起裂区段；

    b. 在所述起裂区段内的多个通道，所述多个通道穿过弱化线连通以引入压裂流体使套管膨胀并沿弱化线使起裂区段分开，其中所述多个通道与压裂流体源相互连通以在第一优选方向上使注入套管和地层膨胀，由此在正交于第一膨胀方向的第一方位处起裂第一竖直裂缝，在不同于第一优选方向的第二优选方向上使注入套管和地层膨胀，由此在正交于第二膨胀方向的第二方位处起裂第二竖直裂缝。

18. 如权利要求 16 的井，其中所述压裂流体不从裂缝泄漏到地层。

19. 如权利要求 16 的井，其中所述压裂流体包括支撑剂，压裂流体能够在低流速下携带压裂流体的支撑剂。

20. 如权利要求 16 的井，其中所述压裂流体干净地清除最小残留物。

21. 如权利要求 16 的井，其中所述压裂流体具有低的摩擦系数。

22. 如权利要求 16 的井，其中所述压裂流体包括水基瓜尔树胶凝胶浆。

23. 如权利要求 17 的井，其中所述起裂区段在压裂流体使套管膨胀之后保持分开，以提供在液压开裂完成之后第一裂缝和第二裂缝与井眼的液压连通。

24. 如权利要求 17 的井，其中所述压裂流体包括支撑剂，每个起裂区段包括井筛管区段，所述井筛管区段将液压裂缝中的支撑剂与生产井眼分开，这样在石油流体抽取过程中防止支撑剂从裂缝流回到生产井眼。

## 不牢固和脆弱粘结的沉积物中的竖直液压裂缝的多方位控制

### 技术领域

本发明总体上涉及通过注入压裂流体使地下地层断裂以增强回收地下石油流体，更具体地涉及用于在一个单独井眼内在不牢固和脆弱粘结的沉积物中形成定向在预定的不同方位的多个竖直液压裂缝，以增加地下地层的石油流体的产量的方法和装置。

### 背景技术

使石油回收井形成液压裂缝，由于形成的裂缝的高渗透性和裂缝的尺寸和范围，提高了从低渗透地层的流体的抽取。井眼的一个单独液压裂缝导致从地层抽取石油流体的产量的增加。然而，石油流体的产量典型地来自紧靠近裂缝的地层区域，因此地层中的大量石油流体没有回收。在一个单独的井眼内在不同方向或方位形成许多裂缝，将进一步增加井的产量并且导致来自地层的石油储量的最大回收。

现在回到现有技术，使地表下地层形成裂缝以促使碳氢化合物流体从地表下地层产生已经在世界许多地方进行了 50 年以上。通过在被衬套的钻井内穿孔或在开放井眼的隔离部分内穿孔，使地层液压开裂。液压裂缝的水平和垂直方位由土壤和地层纤维中的压应力状况来控制。在岩石力学的技术中已知的是，裂缝将出现在垂直于最小应力方向的平面内，见美国专利 No. 4 271 696 (授权给 Wood)。在非常深的地方，水平应力中的一个一般处于最小值，导致通过液压开裂过程形成竖直裂缝。在现有技术中还已知的是，竖直裂缝的方位受到凝固沉积物和脆岩中最小水平应力的方位控制。

在浅的深度处，水平应力可能小于或大于竖直覆盖层应力 (overburden stress)。如果水平应力小于竖直覆盖层应力，那么将起裂竖直裂缝；而如果水平应力大于竖直覆盖层应力，那么将由液压开裂过程形成水平裂缝。

从井眼中引起优选的水平定向裂缝的技术是熟知的。这些技术包括利用带压气体或液体射流，在敞开井眼中形成一个水平槽口。这样的技术通常用在石油和环境工业。开槽技术令人满意地用于产生一个水平裂缝，只要水平应力大于竖直覆盖层应力，或土层有足够的水平分层或纤维（layering or fabric）来确保裂缝连续在水平面上扩展。在水平面上，穿孔以从衬套井眼引起水平裂缝的技术已经公开，但是这样的穿孔技术在低水平应力的地层中不如人们所希望的那样诱发水平裂缝。见美国专利 No. 5 002 431（授权给 Heymans）。

用于在衬套井眼内形成竖向槽的各种措施已经公开，现有技术认识到链锯能够用于对套管开槽。见美国专利 No. 1 789 993（授权给 Switzer），美国专利 No. 2 178 554（授权给 Bowie 等人），美国专利 No. 3 225 828，（授权给 Wisenbaker），和美国专利 No. 4 119 151（授权给 Smith）。在现有技术中已经公开，安装预开槽的或弱化的套管作为给套管穿孔的一种选择，因为这样的穿孔因环绕穿孔的地层的孔隙塌陷，能够导致地层与井眼的减小的液压连接。见美国专利 No. 5 103 911（授权给 Heijnen）。在现有技术的这些方法没有涉及用于在一个预定方位定向处优选起裂竖直液压裂缝的两个相对槽的方位定向。已被本领域公认的是，裂缝方位定向不能由这些措施来控制。这些方法是套管穿孔以实现在井眼和周围地层之间的更好连接的一种选择。

从深处的地下井使地下土层液压破裂的技术中，已知的是，在注入到地层的流体区域，土层的压力将典型地导致形成一个竖直的两“翼”结构。这种带“翼”结构一般在相反方向和在一般垂直于最小的就地水平压应力的平面中从井眼侧向延伸。这种类型的裂缝在石油工业中是熟知的，因为当一种带压的压裂流体，通常为水和胶凝剂以及一定的支撑剂材料的混合物，从衬套的或未衬套的井眼注入到地层时，会出现这种类型的裂缝。这样的裂缝在径向上以及在竖直方向上延伸，直到裂缝遇到这样的区域或土壤材料层。所述区域或土壤材料层处在较高的压应力下或是强到足以能在没有增加注入压力的情况下制止进一步的裂缝扩展。

在现有技术中也熟知的是，竖直液压裂缝的方位由垂直于最小水平应力方向在竖直液压裂缝的方位的应力状况来控制。在优选方位定向上起裂和扩展竖直液压裂缝的尝试都没有成功，并且被广泛认可的是竖直液压裂缝的方位只能随土壤应力状况的改变而变化。在受到很大的注入压力的石油储层中和在抽取流体导致竖直液压裂缝的局部方位改变时，土壤局部应力状况的这种变化已被观察到。

在预定的方位上通过井眼开槽或安装预开槽的或弱化的套管来控制不牢固或脆弱粘结的土壤和沉积物的地层中的竖直液压裂缝的方位的方法已经被公开。该方法公开了竖直液压裂缝能够在不牢固或脆弱粘结的沉积物中按预定的方位扩展。参见美国专利 No. 6 216 783 (授权给 Hocking 等人) 和美国专利 No. 6 443 227 (授权给 Hocking 等人)。该方法公开了竖直液压裂缝能够在不牢固或脆弱粘结的沉积物中按预定的方位扩展。在现有技术中的这些方法不涉及为了提高来自地层的石油流体产量从单独井眼中在不同方位上形成多个定位的竖直液压裂缝。

因此，需要一种在不牢固或脆弱粘结的沉积物的地层中在一个单独井眼内控制多个竖直液压裂缝的不同方位定向的方法和装置。另外，需要一种将安装的竖直液压裂缝液压连接到井口，而不必对套管钻孔的方法和装置。

### 发明内容

本发明设置一种方法和装置，利用各种措施从一个井眼使土壤膨胀，以起裂和控制在不牢固或脆弱粘结的沉积物的地层中在一个单独井眼的不同方位形成的多个竖直液压裂缝的方位定向。这些裂缝是通过优选地使正交于所希望的裂缝方位方向的土壤膨胀而起裂的。土壤的这种膨胀能够由各种各样的措施来产生：受驱动的铲，使正交于所要求的方位方向的土壤膨胀；封隔器，使正交于所要求的方位方向的土壤膨胀和优选地膨胀；对预弱化的套筒的加压，所述预弱化的套筒具有与所要求的方位定向对齐的弱化线；对具有对向槽的套管加压；所述对向槽沿所要求的方位方向切割；对双“翼”人工竖直裂缝加压，

所述双“翼”人工竖直裂缝通过在所要求的方位定向切割套管、水泥浆和/或地层或者在套管、水泥浆和/或地层中开槽形成。

一旦第一竖直液压裂缝形成，第二和继后的多方位定向的竖直液压裂缝通过密封第一和较早的裂缝的套管或单独的封隔器系统，然后通过优选地使正交于下一个所希望的裂缝方位方向的土壤膨胀来起裂，第二和继后的裂缝被起裂和控制。起裂多个方位定向裂缝的次序是这样的，以致由较早的裂缝诱发的土壤水平应力有利于其次和继后裂缝的起裂和控制。在预定方位处起裂和形成第一竖直裂缝，使垂直于起裂的第一裂缝平面的水平应力增加。起裂和形成正交于第一裂缝的第二竖直裂缝，以获得由第一裂缝所产生的增加的水平应力引起的有利的水平应力状况的优点，以及在完成第二裂缝之后达到水平应力状况的继后平衡。在第二裂缝之后，土壤的水平应力更加均匀。这样，在与较早裂缝不同的方位上，有利于起裂和形成第三裂缝。起裂和形成正交于第三裂缝的第四竖直裂缝，因为定向将受到由于建立第三裂缝产生的有利的水平应力场的作用。受控的第四方位的裂缝的形成将导致在第四裂缝的注入完成之后水平应力的平衡。

本发明涉及一种用于从一个单独井眼形成多个竖直液压裂缝以提高来自井眼周围地层的石油流体的抽取的方法。用于起裂的这样的任何套管系统，将有一种机构确保在每个裂缝形成之后套管保持敞开，以提供井眼到液压裂缝的液压连接。

用于形成液压裂缝的压裂流体有两个目的。首先，压裂流体必须被调配成在地下地层内起裂和扩展裂缝。从这一方面说，压裂流体有特定的性能。压裂流体不应泄漏到地层，压裂流体应是干净地清除最小残留物的，并且压裂流体应当具有低的摩擦系数。

第二，一旦注入到裂缝，压裂流体形成一个高度可渗透的液压裂缝。从这一方面说，压裂流体包括支撑剂，支撑剂产生高度可渗透裂缝。这些支撑剂典型地是用于大量液压裂缝装置的清洁砂子或专门制造的颗粒（一般地在成分上是陶瓷），它们还被设计成限制支撑剂从裂缝回流到井眼内。

本发明只适用于与在液压裂缝深度上占支配地位的竖直覆盖层应力相比较具有低粘结强度的不牢固的或脆弱粘结的沉积物的地层。低粘结强度在这里被限定为 200 磅每平方英寸 (psi) 或 25% 的总的竖直覆盖层应力两者中的较大者。这样的不牢固或脆弱粘结的沉积物的例子是白垩和硅藻土地层。它们具有固有的高孔隙率，并因此大量存在于就地石油储量中，但是具有低的渗透性，该渗透性要求生成液压裂缝以增加来自这样的地层的石油流体的产量。按照常规的液压开裂，这些地层将只生产其就地石油储量的一小部分；而在单独井眼中的多方位控制的竖直液压裂缝具有实质上增加来自地层的产量和可回收储量的潜力。不牢固和脆弱粘结的沉积物的另一个例子是油砂或沥青砂，其中重油或沥青油的石油流体是高粘度的，井眼中需要蒸汽洪流 (steam flood) 或蒸汽循环，以实现来自地层的石油流体的可接受产量。来自单独井眼的多方位的砂填裂缝将大大地增加蒸汽洪流或蒸汽循环的影响区域，并且导致较高速率的产量且导致来自地层的石油流体的较大回收。该方法不适合于裂缝方位由地层应力状况控制的牢固的脆性岩石层。

虽然本发明设想形成这样的裂缝，这些裂缝一般侧向延伸离开穿透地层的竖直或接近竖直的井并在距该井的相对的方向上在通常竖直的平面上延伸，即为一个垂直两翼裂缝。本领域的技术人员将认识到本发明可以在这样的地层中实施，即其中裂缝和井眼能够在除竖直方向之外的方向上延伸。

因此，本发明提供了一种用于在不牢固或脆弱粘结的沉积物的地层中在单独井眼内控制多个竖直液压裂缝的方位的方法和装置。

本发明的其他目的、特征和优点，在结合附图与权利要求的同时在看过下面的本发明的优选实施例的描述之后，权利要求将变得显而易见。

#### 附图说明

图 1 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，具有两翼起裂区段的井套管的水平剖视图。

图 2 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，具有两翼起裂区段的井套管的侧向剖视立面图。

图 3 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，具有两翼起裂区段的放大的井套管的水平剖视图。

图 4 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，具有两翼起裂区段的井套管的侧向剖视立面图。

图 5 是在第一方位控制的竖直裂缝起裂之后，具有两翼起裂区段的井套管的水平剖视图。

图 6 是在第二方位控制的竖直裂缝起裂之后，具有两翼的起裂区段的井套管的水平剖视图。

图 7 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，每个都具有两翼起裂区段的两个注入井套管的侧向剖视立面图。

图 8 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，具有四翼起裂区段的井套管的放大的水平剖视图。

图 9 是在多方位控制的竖直裂缝起裂之前，具有四翼起裂区段的井套管的侧向剖视立面图。

图 10 是在第四方位控制的竖直裂缝起裂之后，具有四翼起裂区段的井套管的水平剖视图。

### 具体实施方式

下面描述并在附图中示出本发明的几个实施例。本发明涉及用于在一个单独井眼诸如产油井的不牢固和脆弱粘结的沉积物的地下地层中起裂和扩展多方位控制的竖直液压裂缝的方法和装置。此外，本发明涉及用于在所形成的液压裂缝和井眼之间提供高度液压连接，以提高来自地层的石油流体的产量以及使裂缝能够单独地重新破裂，以在地层内达到更厚和更能渗透的适当裂缝的方法和装置。

参照附图，其中同样的数字指示同样的元件，图 1、2 和 3 示出了初始建立用于形成双方位控制的竖直裂缝的方法和装置。常规的井眼 5 是通过冲洗旋转法或缆索工具法以进入不牢固或脆弱粘结的沉积物的地层 8 直至地表 6 之下的一一个预定深度 7 处来完成的。注入套管 1

安装到预定深度 7。安装是通过浇灌水泥浆 (grout) 4 来完成，水泥浆完全填满在注入套管 1 外侧和井眼 5 之间的环形空间。注入套管 1 包括四个起裂区段 11、21、31 和 41 (图 3)，以产生两个液压分裂位置 71 和 72 以及两个液压分裂位置 81 和 82，两个液压分裂位置 71 和 72 再产生沿平面 2、2' 定向的第一裂缝，两个液压分裂位置 81 和 82 再产生沿平面 3、3' 定向的第二裂缝，如在图 5 和 6 中所示。注入套管 1 必须由这种材料制造的，即它能够承受在压裂流体增压过程中压裂流体作用在注入套管 1 内部的压力。水泥浆 4 可以是在裂缝生成的整个过程中维持在注入套管 1 外侧和井眼 5 之间的间隔的任何常规材料，优选地为一种不收缩或低收缩的水泥基水泥浆。

注入套管 1 的外表面应当是粗糙的或这样制造的，以致水泥浆 4 以最小强度粘结到注入套管 1，最小强度等于起裂方位控制的竖直裂缝所要求的井眼底部压力。水泥浆 4 与套管 1 外表面的粘结强度阻止压裂流体短路沿套管-水泥浆分界面到达地表 6。

参照图 1、2 和 3，注入套管 1 包括安装在井眼 5 内预定深度 7 的两翼起裂区段 11、21、31 和 41。带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 能够用与注入套管 1 同样的材料制造。带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 平行对准于并通过裂缝平面 2、2' 和 3、3'，裂缝平面 2、2' 和 3、3' 分别与由分裂位置 71 和 72 (图 5) 形成的第一方位控制的竖直液压裂缝和由分裂位置 81 和 82 (图 6) 形成的第二方位控制的竖直液压裂缝重合。带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 在地表面之下的位置，将取决于诱发多方位液压裂缝所要求的现场几何条件和储层特性和可回收储量。

井套管 1 的带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 优选由四个对称的四分之一部件构成，如图 3 所示。带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的结构形状不局限于所示形状，但是所选结构形状必须允许裂缝沿裂缝平面 2、2' 和 3、3' 在至少两个相对的方向上侧向扩展。在图 3 中，在起裂裂缝之前，带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的四个对称的四分之一部件由剪力紧固件 13、23、33 和 43 共同连接在一起。带翼的

起裂区段 11、21、31 和 41 的四个对称的四分之一部件由垫片 12、22、32 和 42 密封。垫片 12、22、32 和 42 和紧固件 13、23、33 和 43 被设计成在水泥浆 40 浇灌过程中保持水泥浆 40 不泄漏到带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的内部。垫片 12、22、32 和 42 对准裂缝平面 2、2' 和 3、3' 并限定在带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 之间的弱化线。特别地，带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 设计成沿与裂缝平面 2、2' 和 3、3' 重合的弱化线分开。在起裂过程中，如图 5 和 6 所示，带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 沿弱化线分开，而不造成带翼的起裂区段 11、23、31 和 41 的实体损伤。能够采用连接四个对称的四分之一部件的带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的任何措施，包括但不局限于夹子、粘胶或弱化的紧固件，只要由紧固措施所施加的将带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的四个对称的四分之一部件保持在一起的压力大于水泥浆 4 作用在带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的外部上的压力。换句话说，紧固件 13、23、33 和 43 必须足以防止水泥浆 4 泄漏到带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的内部。紧固件 13、23、33 和 43 在起裂过程中在一定的施加载荷时将张开，在裂缝扩展过程中进一步张开，并且在裂缝完成之后不关闭。紧固件 13、23、33 和 43 能够包括各种各样的装置，只要它们有明显 (distinct) 的张开压力，在裂缝建立过程中它们逐步张开，并且在裂缝生成之后甚至在泥土封闭应力作用下它们保持张开。紧固件 13、23、33 和 43 还限制带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的四个对称的四分之一部件的最大张开量。每个紧固件 13、23、33 和 43 包括弹簧加载的楔块 18。楔块 18 允许紧固件在裂缝生成过程中逐步张开以及在裂缝生成之后在泥土封闭过程中的压缩应力作用下保持张开，而所允许的张开量由螺栓 19 的长度来确定。

参照图 3，井筛管区段 14、24、34 和 44 被包容在相邻的带翼的起裂区段 11、21、31 和 41 的剪力夹紧区段 15、15'、25、25'、35、35' 和 45、45' 内。筛管区段 14、24、34 和 44 是由常规的井筛管材料构成，它限制地层土壤颗粒进入到井眼中。筛管区段 14、24、34 和

44 是由剪力夹紧器 15, 15', 25, 25', 35, 35' 和 45, 45' 牢固地保持，以在起裂和扩展过程中在筛管区段在夹紧器 15, 15', 25, 25', 35, 35' 和 45, 45' 内在滑动或屈服之前，提供限制应力，如在图 5 和 6 上分别对第一和第二裂缝所示的。参照图 3 和 4，通道 17、27、37 和 47 通过注入套管 1 顶部段 9 连通到内套管井眼通道 10 的开孔 51, 52, 53 和 54。通道 10 是注入套管起裂区段中的井眼通道 16 的延伸段。

参照图 3, 4, 5 和 6，在起裂之前，内套管井眼通道 10 和 16 用砂子 18 填充到最低连通开孔 51 和 52 的下面。单独的封隔器 60 下降到注入套管顶部段 9 的内套管井眼通道 10 中，并且胀接在直接在最低开孔 51 和 52 上方的一个位置处的这个段内，如在图 4 所示。压裂流体 20 从泵系统泵入到压力管 50 中，通过单独的封隔器 60，进到开孔 51 和 52，并向下到通道 17 和 37，以便起裂沿方位平面 2, 2' 的第一裂缝。参照图 5，当压裂流体 20 的压力增加到超过侧向的地层压力的水平，带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的两个对称的对开部件 61 和 62 在起裂过程中将沿带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的裂缝平面 2, 2' 开始分开，而对带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的两个对称的对开部件 61 和 62 没有实体损伤。当两个对称的对开部件 61 和 62 分开时，垫片 12 和 32 破裂，紧固件 13 和 33 张开，筛管区段 14 和 34 在剪力夹紧器 15, 15' 和 35, 35' 中滑动，允许两个对称的对开部件 61 和 62 沿裂缝平面 2, 2' 分开，如图 5 中所示，而对带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的两个对称的对开部件 61, 62 没有实体损伤。在带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的两个对称的对开部件 61, 62 分开的过程中，粘结到注入套管 1 (图 5) 和带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的两个对称的对开部件 61 和 62 的水泥浆 4 将开始使邻接的沉积物 70 膨胀，沿计划的方位控制的第一竖直裂缝的裂缝平面 2, 2' 形成土壤 70 的分裂位置 71 和 72。压裂流体 20 迅速地填充土壤 70 的分裂位置 71 和 72 以起裂第一裂缝。在带翼的起裂区段 11, 21, 31 和 41 的两个对称的对开部件内，压裂流体 20 对土壤 70 施加法向力 73。该法向力垂直于裂缝平面 2, 2' 并与土壤 70 的水平应力 74 方向相反。这样，

压裂流体 20 逐步使分裂位置 71 和 72 延伸，并且沿平面 2, 2' 继续维持起裂的第一裂缝所要求的方位。方位控制的第一垂直裂缝将通过压裂流体 20 的继续泵送而膨胀直到第一方位控制的液压裂缝已达到所希望的几何形状。

在第一裂缝完成之后，参照图 3, 4, 5 和 6，单独的封隔器 60 在注入套管井眼 10 内上升到邻近开孔 53 和 54 上方。开孔 53 和 54 分别连通到通道 27 和 47。第一裂缝装置中的压裂流体 20 通过应用酶或酸来造成压裂流体中的砂支撑剂的沉淀并因此引起砂沉淀在通道 17 和 37 中而迅速中断所述通道，和/或将附加的砂放置在通道 17 和 37 和井眼 10 内并正好低于开孔 53 和 54，以致用于第二裂缝注入的压裂流体 80 将不造成第一裂缝的进一步扩展，这是由于通道 17 和 37 中的砂子所提供的高的桥接应力 (bridging stress)。这样，压裂流体 80 将优选地通过开孔 53 和 54 以及通道 27 和 47 来起裂在方位平面 3, 3' 上的第二裂缝。当压裂流体 80 压力在单独的封隔器 60 下面增加时，方位控制的第二竖直裂缝沿平面 3, 3' 起裂和扩展，如前面对在不同的方位平面 2, 2' 上起裂的第一裂缝所述。

在完成第二裂缝和压裂流体 80 中断之后，在注入套管井眼通道 10 和 16 中的砂子被冲洗掉，注入套管充当生产井眼，用于在刚形成的液压裂缝的深度和广度处从地层抽取石油流体。井筛管区段 14, 24, 34 和 44 跨接由第一裂缝和第二裂缝所形成的井套管的开口，并且起常规的井筛管的作用，阻止支撑剂流回到生产井眼通道 16 和 10，紧固件 13, 23, 33 和 43 保持张开，由此提供在井眼通道 16 和裂缝以及地层之间的高度的液压连通。如果必要，在从生产井眼通道 10 和 16 中冲洗砂子以从地层中抽取石油流体之前，能够通过开孔 51 和 52 首先冲洗掉通道 17 和 37 内的砂子，来再次使已经形成的裂缝开裂，这样再次裂开形成的第一裂缝。再次裂开该裂缝能够在地层中形成更厚和更可渗透的裂缝。同样，能够通过开孔 53 和 54 冲洗掉通道 27 和 47 的砂子来再次使第二裂缝裂开，类似于前面所描述的再裂开第一裂缝。

参照图 4, 5 和 6, 一旦起裂, 将压裂流体 20 和 80 通过注入套管 1 的井眼通道 10, 注入到起裂区段 11, 21, 31 和 41 的内通道 17, 27, 37 和 47 并进入起裂后的裂缝, 能够利用任何常规的使压裂流体 20 和 80 增压的措施来实现。常规措施可以包括任何的泵装置, 以使处于运输压裂流体 20 和 80 所必需的压力下的压裂流体 20 和 80 和支撑剂进入起裂的裂缝, 来协助裂缝扩展和在地下地层中形成多方位竖直的可渗透支撑剂充填的裂缝。对于成功的起裂和扩展到所希望的尺寸以及裂缝渗透性, 压裂流体 20 和 80 的优选实施例应当具有下列特征。

压裂流体 20 和 80 不应当过量泄漏或损失其液体成分进入邻近的不牢固的土壤和沉积物中。压裂流体 20 和 80 应能够在形成的方向控制的竖直裂缝边缘处会遇到的低流速下携带压裂流体 20 和 80 中的固体部分 (支撑剂)。压裂流体 20 应具有其末期使用的功能特性诸如耐久性、强度、孔隙度、渗透性等。

压裂流体 20 和 80 应当与支撑剂、地下地层、地层流体相容。而且, 压裂流体 20 和 80 应当能够控制其粘度以使支撑剂运送到在地层中诱发的裂缝的整个范围内。压裂流体 20 和 80 应当是一种有效流体, 即从裂缝到地层的低泄漏, 能清除细小残渣以及具有低的摩擦系数。压裂流体 20 和 80 不应当过量泄漏或损失其液体成分进入邻近的不牢固或脆弱粘结的地层。对于可渗透的裂缝, 含有淀粉的凝胶应当能够降解, 留下细小残渣而不损害裂缝支撑剂的性能。低摩擦系数的流体是需要的, 以减少管道中和下降井眼中的泵压头损失。当希望有液压可渗透裂缝时, 典型地, 凝胶与支撑剂和压裂流体一起使用。优选的凝胶可以包括但不局限下列产品: 水基瓜尔树胶凝胶 (water-based guar gum gel), 羟丙基瓜尔胶压裂液 (HPG), 天然聚合物或纤维素基凝胶诸如羧甲基羟乙基纤维素 (CMHEC)。

凝胶一般是交联的以达到足够高的粘度来运送支撑剂到裂缝末端。交联剂典型地是分配在聚合物之间的金属离子, 诸如硼酸盐、锑、锆等, 并产生金属离子和羟基或羧基组之间的强吸引。凝胶在非交联状态是水溶的, 在交联状态是不水溶的。在交联时, 凝胶能够是极粘

的，由此确保支撑剂在所有时间保持悬浮。加入酶破坏剂以可控制地将粘性的交联凝胶降解成水和糖。酶典型地用数小时来生物降解凝胶，在破坏交联和凝胶的降解完成以后，用支撑剂填充的可渗透裂缝以最小凝胶残留保留在地层内。对于某些支撑剂，能够将 PH 缓冲剂加入到凝胶中，以确保凝胶的就地 PH 值是在酶活性的合适范围内。

将压裂流体—凝胶—支撑剂混合物注入地层，该混合物携带支撑剂到裂缝末端。一旦裂缝扩大到所要求的侧向和垂直范围，可能需要增加预定的裂缝厚度，这可以通过抽出筛管 (tip screen out) 的方法或通过使已经诱发的裂缝再裂开来实现。抽出筛管的方法涉及改变支撑剂装载和/或压裂流体 20 和 80 性能，以达到裂缝尖端处的支撑剂桥接。在抽出筛管之后进一步注入压裂流体 20 和 80，不是使裂缝侧向或竖向延伸，而是注入流体使裂缝加宽也就是使裂缝变厚。已经诱发裂缝的再裂开能够建立较宽和更可渗透的裂缝，并且还提供优选地注入蒸汽、二氧化碳、化学药剂等的能力，以提高来自地层的石油流体的回收。

压裂流体 20 和 80 的密度通过增加或减少支撑剂装载量或改变支撑剂材料的密度能够改变。在许多情况中，压裂流体 20 和 80 密度将被控制，以确保裂缝初始向下扩展和达到预期的裂缝所要求高度。这种向下的裂缝扩展取决于就地的深度方向的水平地层的应力梯度，并且要求凝胶密度典型地大于 1.25gm/cc。

压裂流体 20 和 80 的粘度应当足够高，以确保支撑剂在注入到地下时保持悬浮，否则，密的支撑剂材料将沉降或沉淀出来，轻的支撑剂材料将在压裂流体中流动或上升。压裂流体 20 和 80 的要求粘度取决于支撑剂和凝胶的密度比和支撑剂的最大颗粒直径。对于中等颗粒尺寸的粒子，即类似于中等砂子的颗粒尺寸，压裂流体 20 和 80 粘度典型地需要大于在剪切速率为 1/秒时的 100 厘泊。

参照图 7，两个注入套管 91 和 92 被安置在井眼 95 的不同深度 93 和 94 处，以及通过水泥浆充填注入套管 91 和 92 和井眼 95 之间的环形空间被浇灌到地层中。用砂子填充井眼通道 110 正好到开孔 101 和

102下面，使下部注入套管91首先裂开。将封隔器100下降到井眼通道110中正好在开孔101和102上面，并且在井眼通道110内膨胀。压裂流体120被泵进封隔器管柱105中，并且通过封隔器100进到开孔101和102中，以按如前所述在第一要求裂缝方位处起裂第一竖直液压裂缝。一旦完成第一注入套管91内的第一裂缝，将封隔器100上升到正好在开孔103和104的上方，在第一注入套管91中起裂第二裂缝，如前描述。在第一注入套管91中的裂缝完成之后，重复该过程如下，将封隔器100提升到正好在开孔111和112的上方，以在第二注入套管92中起裂第一裂缝，并且整个过程被重复以形成安装在井眼95内的注入套管中的所有裂缝。

本发明的另一个实施例示于图8，9和10，包括被插入在井眼97的并且用水泥浆98浇灌就位的注入套管96。注入套管96包括八个对称起裂区段121，131，141，151，161，171，181和191，以在不同的方位平面122，122'，123，123'，124，124'和125，125'上安装总共四个液压裂缝。用于起裂第一裂缝的诱发通道126和166的通道连通到开孔127和167，第一裂缝沿方位平面122，122'起裂和扩展，如前所述。起裂第二裂缝的通道146和186连通到开孔147和187，第二裂缝沿方位平面123，123'起裂和扩展，如前所述。起裂第三裂缝的通道136和176连通到开孔137和177，第三裂缝沿方位平面124，124'起裂和扩展，如对前面安装的裂缝所述。起裂第四裂缝的通道156和196连通到开孔157和197，第四裂缝沿方位平面125，125'起裂和扩展，如对前面安装的裂缝所述。该工艺过程导致从一个单独井眼在不同方位安装四个液压裂缝，如图10所示。

最后，应理解的是优选的实施例已经通过例子公开，对于本领域的技术人员来说，可以出现其他一些改变而不偏离附录权利要求的范围和精神。

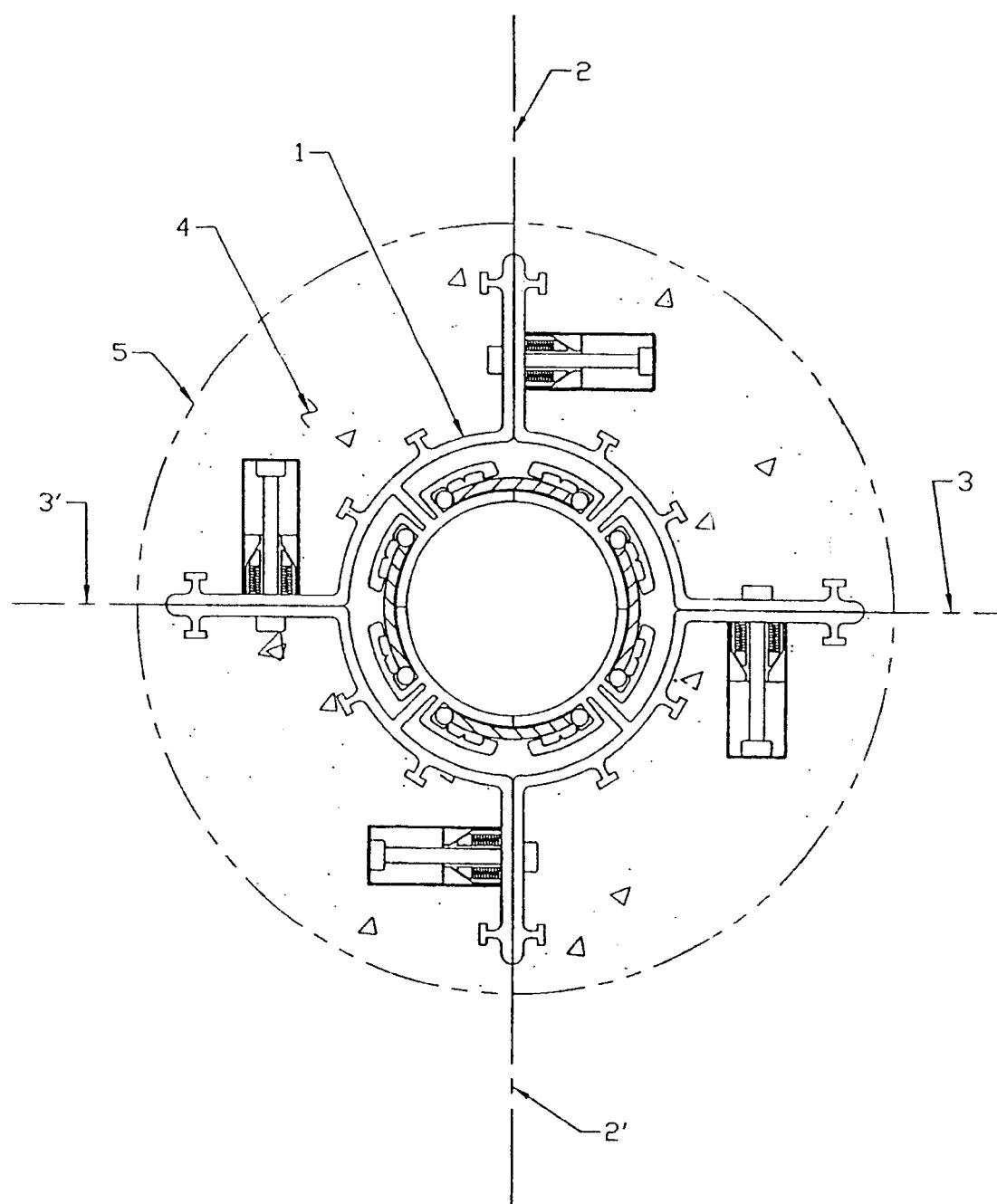


图 1

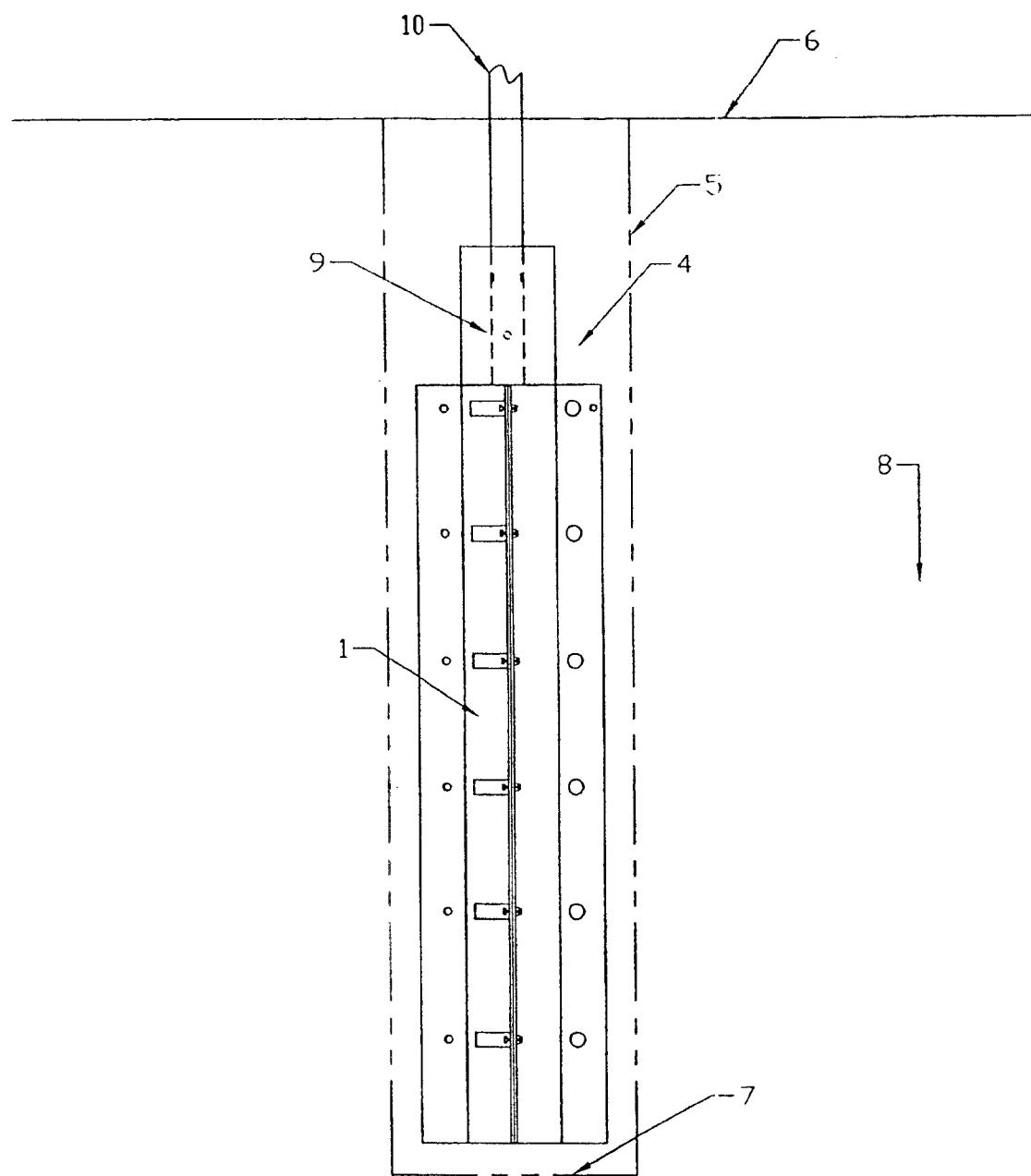


图 2

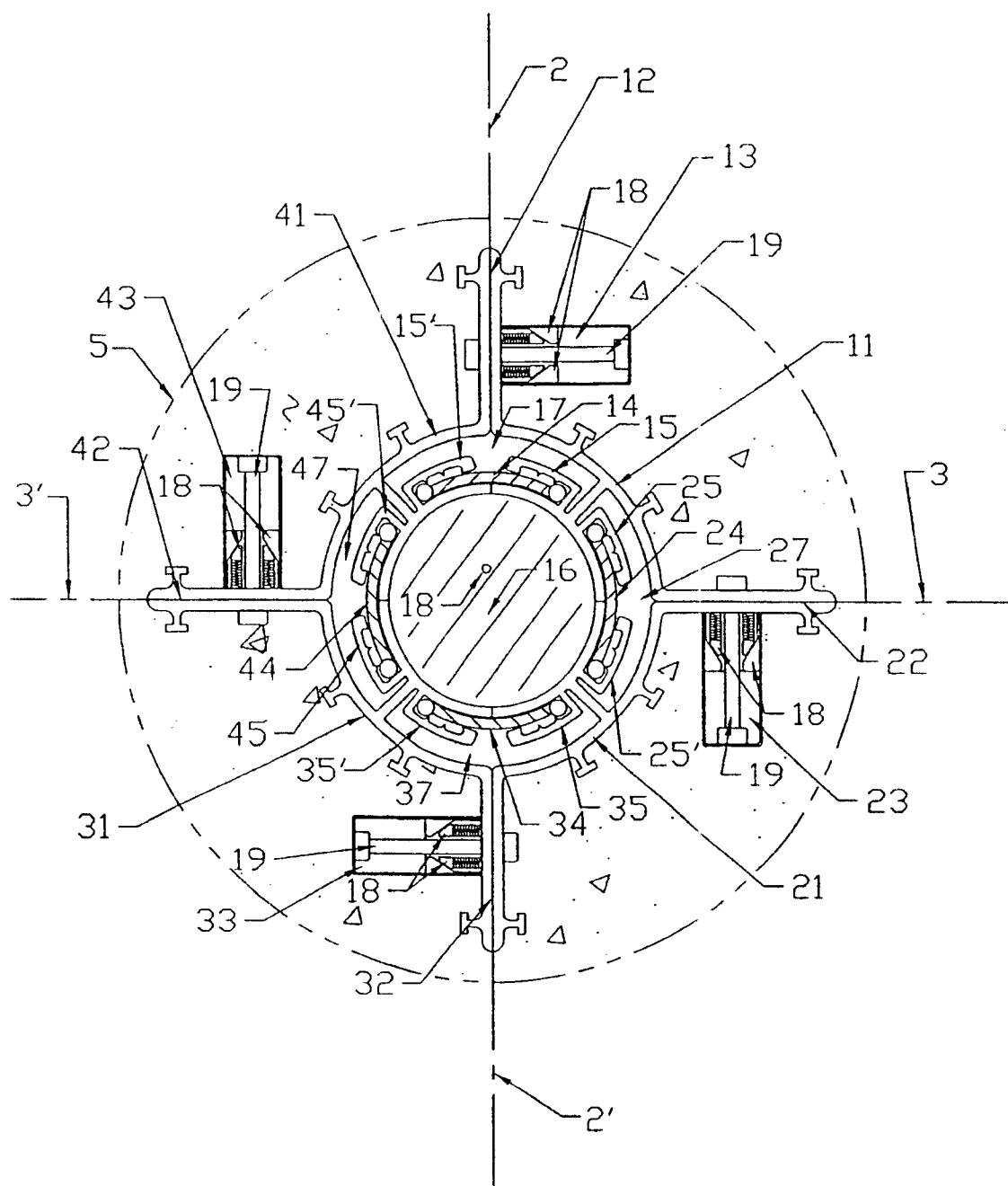


图 3

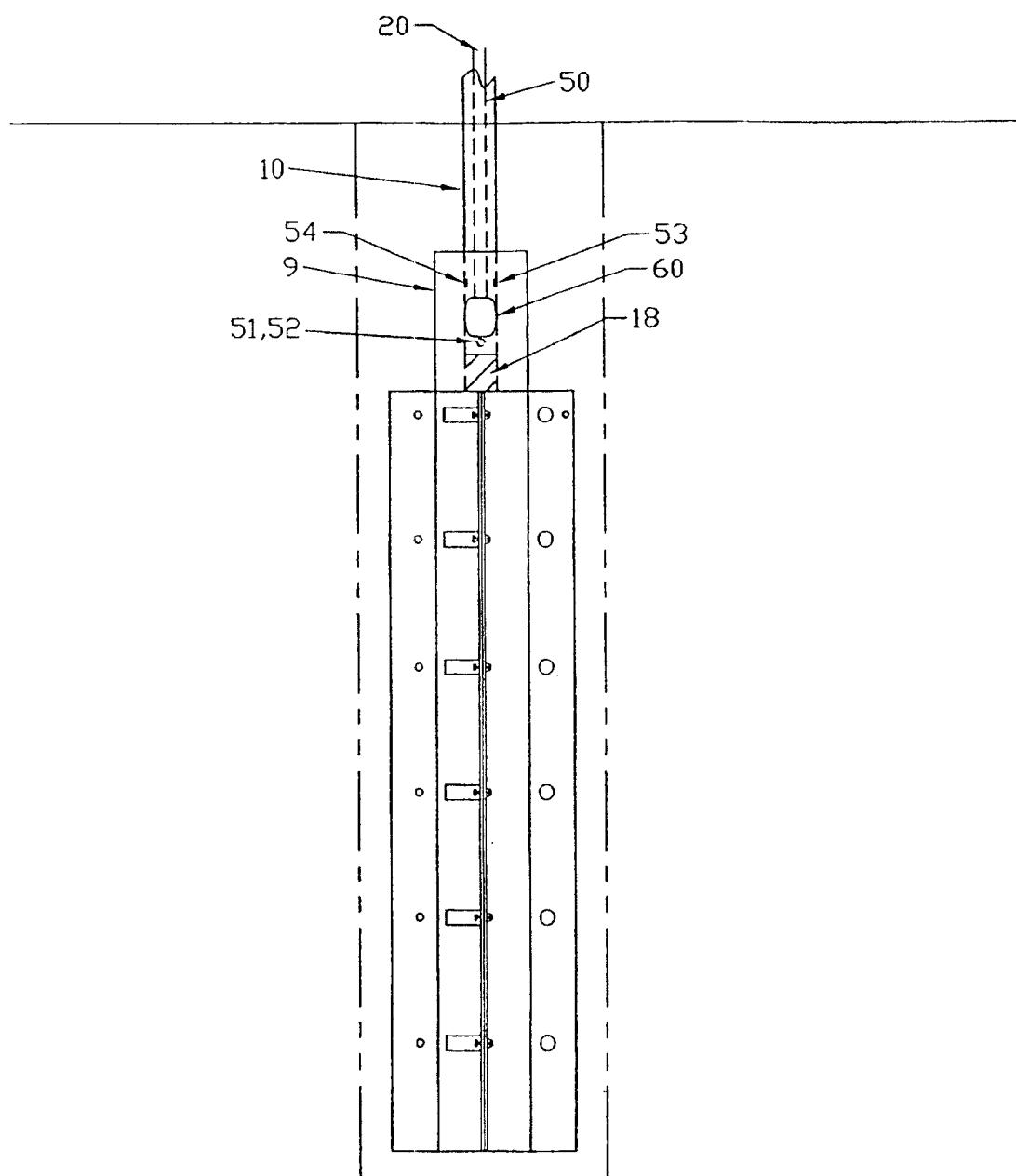


图 4

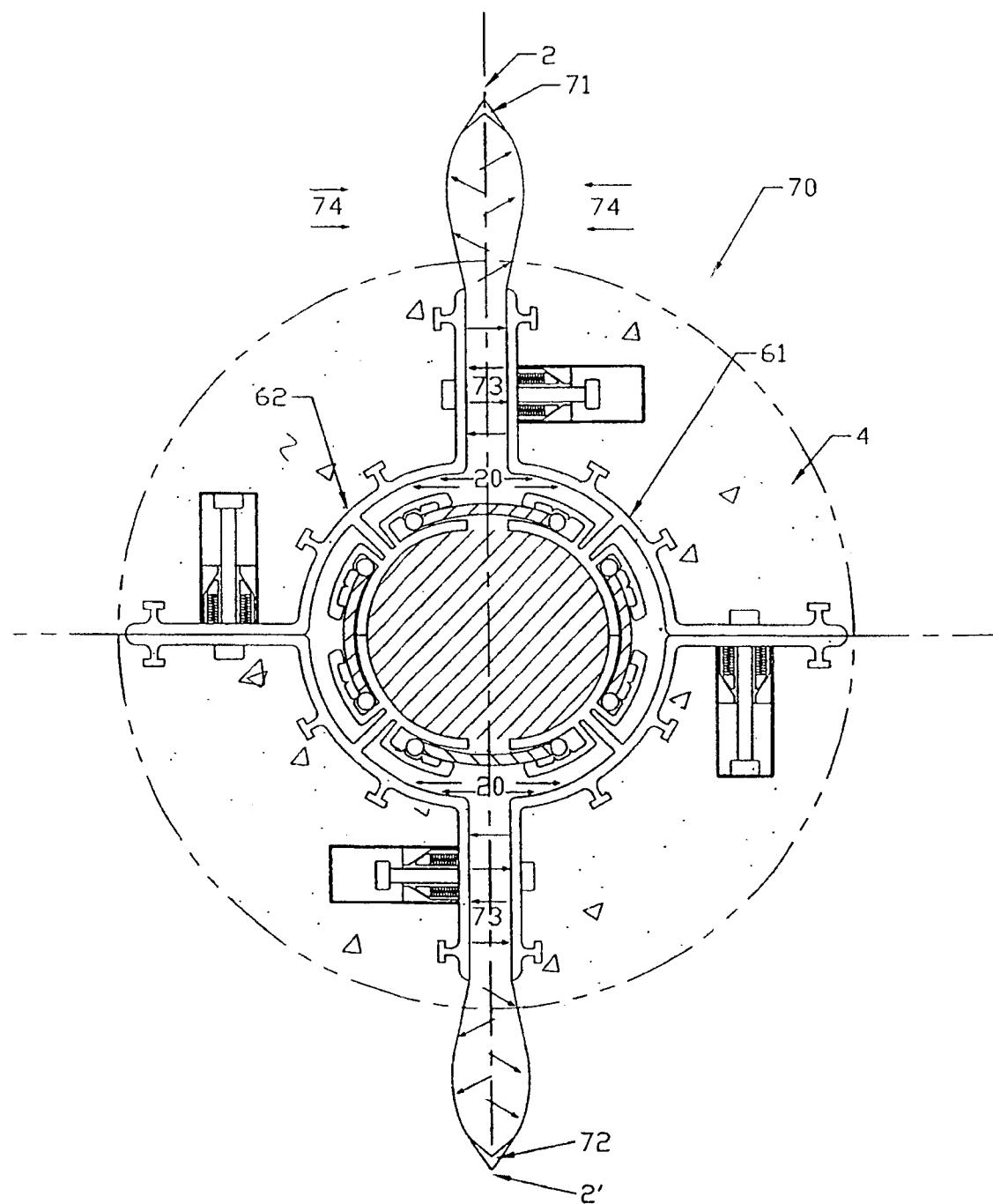


图 5

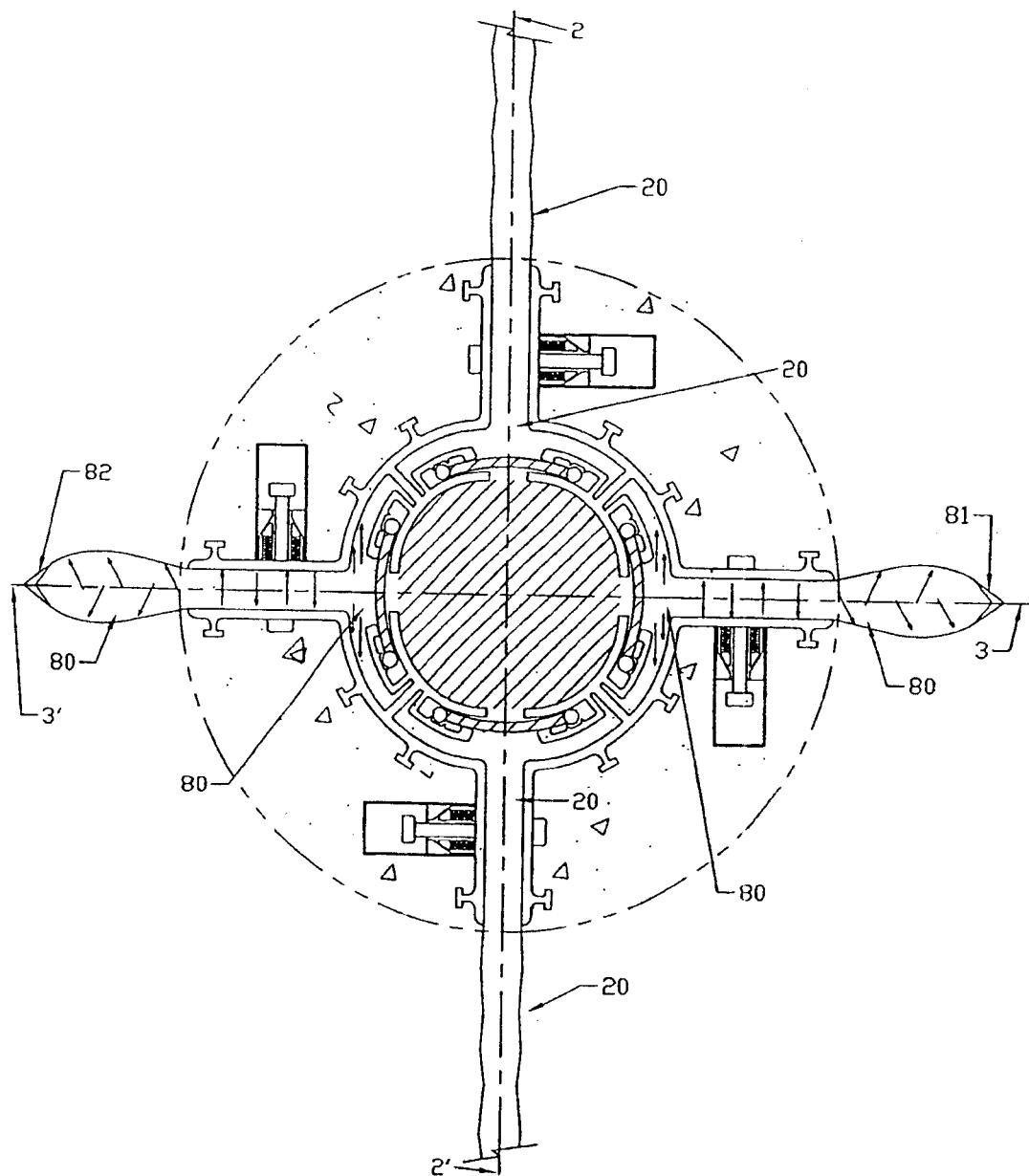


图 6

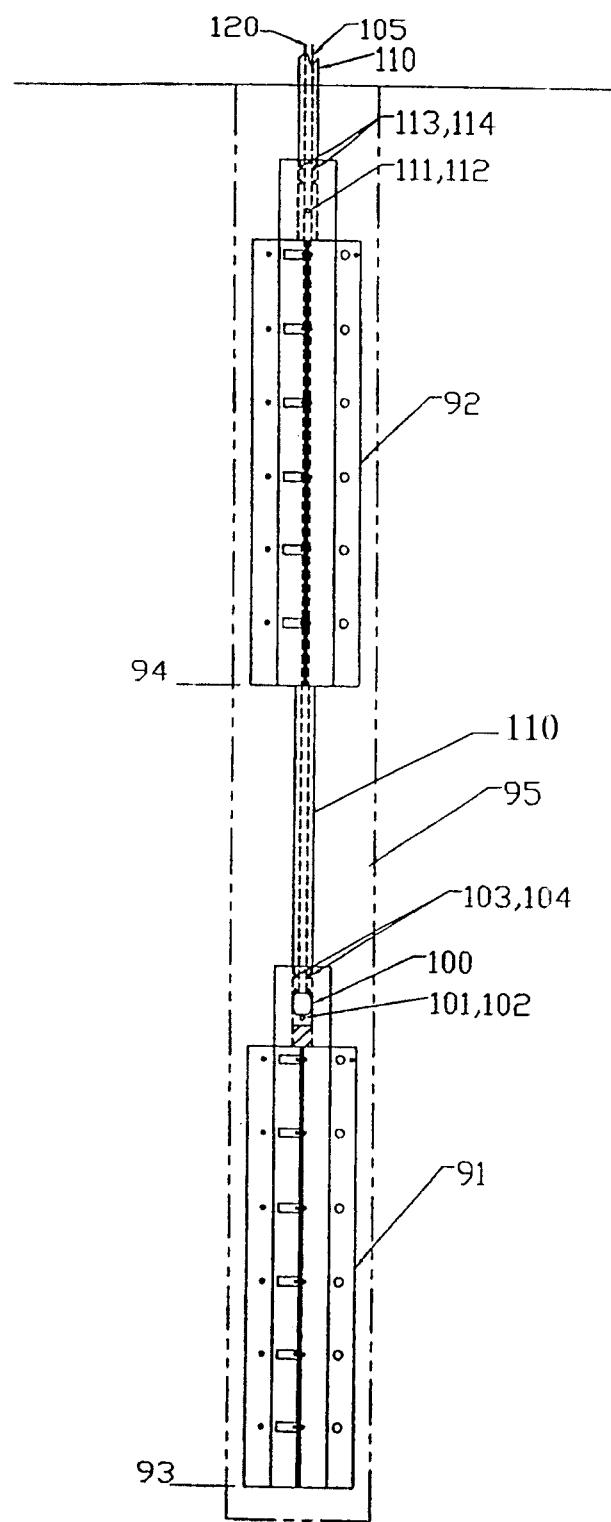


图 7

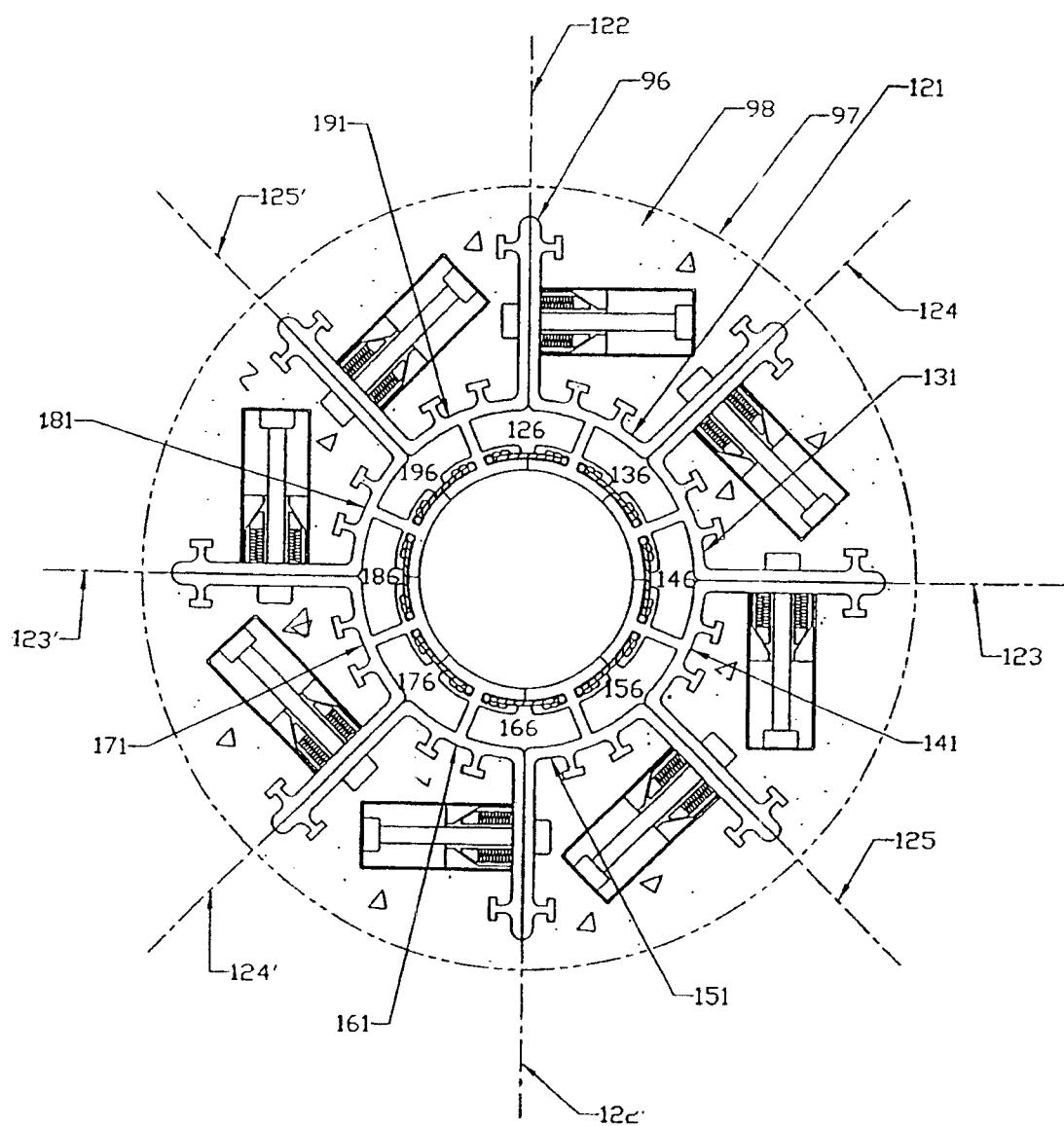


图 8

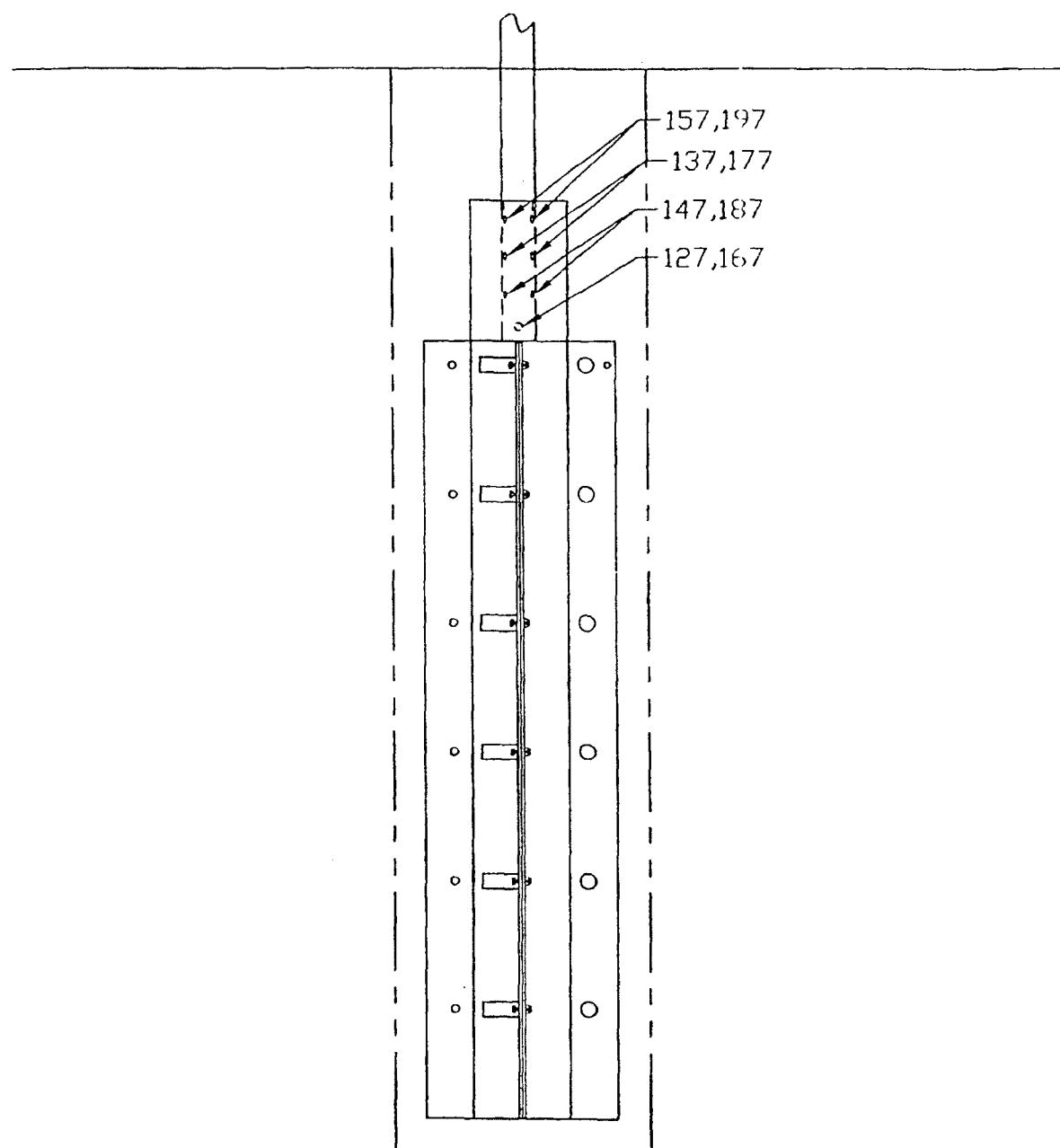


图 9

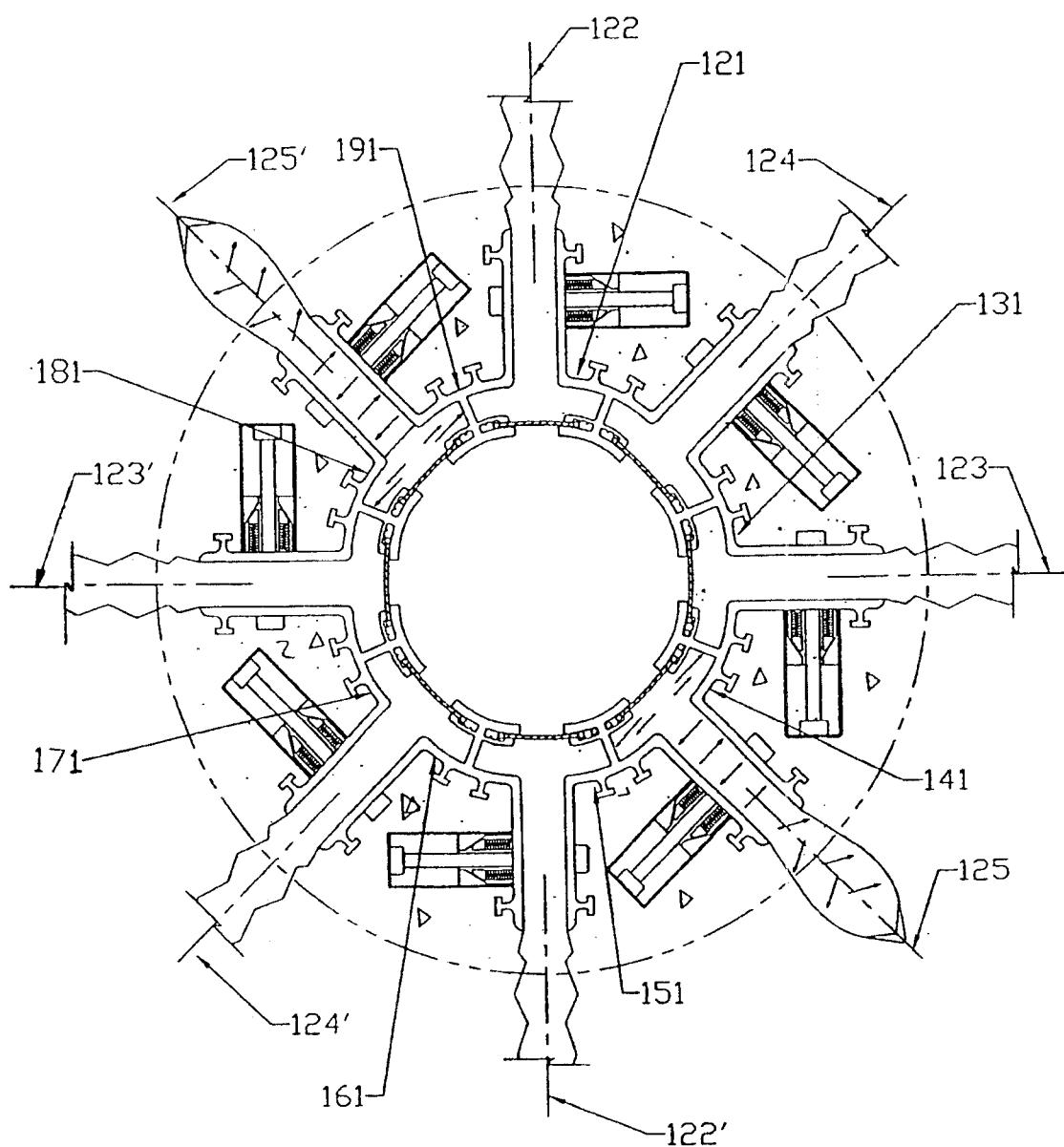


图 10