

[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 97126244.6

[45] 授权公告日 2002 年 9 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1091403C

[22] 申请日 1997. 12. 31

[21] 申请号 97126244.6

[30] 优先权

[32] 1996. 12. 31 [33] US [31] 60/034806

[32] 1997. 7. 10 [33] US [31] 08/889739

[73] 专利权人 尹格索研磨机公司

地址 美国伊利诺伊州

[72] 发明人 库盖勒·S·钱德拉塞卡

[56] 参考文献

DE, A, 4429991	1996. 2. 29	B2311/08
EP A 0779127	1997. 6. 18	B23Q1/70 2311/08
US, A, 5014581	1991. 5. 14	B23B27/14

审查员 王冬杰

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

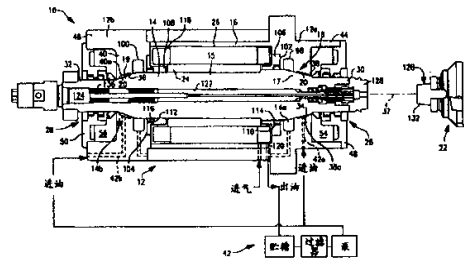
代理人 张兰英

权利要求书 5 页 说明书 17 页 附图页数 7 页

[54] 发明名称 整体式和电动机装置以及带有电动机的主轴装置

[57] 摘要

一主轴和电动机装置包括：一壳体框架；一在壳体框架内的有前、后端的主轴转轴，前端安装切削刀具；一位于主轴转轴上并在两端之间的第一电动机部分；一位于框架上并与第一电动机部分协同工作以驱动主轴转轴的第二电动机部分；诸静压轴承件，位于转轴的前端和后端附近，并具有供至那里的高压流体，以将主轴转轴安装在框架内以作旋转运动；用来保持轴承流体使它围绕正在旋转的主轴周围并能防止它从主轴装置泄漏出来的非接触式密封件。



ISSN 1008-4274

权 利 要 求 书

1. 一种用来旋转一切削刀具以切削诸工件的机床用整体式主轴和电动机装置，所述主轴和电动机装置包括：

—壳体框架；

—安装在所述壳体框架内、用来旋转的主轴转轴，它具有一后端和一前端，并且在主轴转轴前端安装有切削刀具，以对诸工件进行切削加工；

—位于所述主轴转轴上、位于其两端之间的第一电动机部分；

—位于所述框架上并且与所述第一电动机部分协同工作以旋转驱动所述主轴转轴的第二电动机部分；

诸静压轴承件，它们位于所述转轴的前端和后端附近，并具有供送至那里的高压流体，以将所述主轴转轴安装在所述框架内以作旋转运动；以及

用来保持轴承流体使它围绕在所述正在旋转的主轴周围并能防止它从所述主轴装置泄漏出来的非接触式密封件。

2. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，所述非接触式密封件包括一由曲径式和空气静力式浮环密封件组成的组合件。

3. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，诸密封件包括诸个位于前轴承处并能形成一弯曲通道的曲径式密封件，轴承流体必须通过所述弯曲通道才能泄漏出去，以及

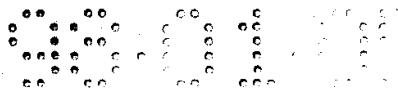
位于所述主轴转轴上的诸曲径式密封件附近的空气静力式浮环密封件，所述曲径式密封件沿着所述主轴转轴方向在诸浮环密封件和诸轴承之间，诸浮环密封件具有用来在所述主轴和环形密封件之间形成一空气静力膜的高压空气。

4. 如权利要求 3 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，诸密封件在诸环体内包括诸空气通道，诸环体安装在所述主轴转轴的前端和后端处，与它们呈相互隔开的关系，并且诸环体具有高压空气，用来在所述主轴和诸环形密封件之间的空间内形成空气静力膜并能使空气通过诸空气通道而流入诸环形密封件和转轴之间的空间内。

5. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，诸静压轴承件包括诸个围绕转轴的前端和后端周向隔开的高压轴承凹穴，用来在切削加工过程中支承和承担转轴负荷，以及

在诸高压轴承凹穴之间、具有低于所述轴承凹穴压力的低压流体的低压凹穴，并且诸低压凹穴保持充满低压流体，以便在所述主轴转轴高速旋转过程中，能在诸轴承凹穴内保持一高的流体压力。

6. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，它包括一用于安装所述诸静压轴



承件的、位于转轴前端或主轴转轴后端之一处的、可移动的轴承安装件，以便在工件切削加工过程中能使所述产生热膨胀的轴承件移动，从而能保持住所述轴承件和转轴表面之间具有足够的间隙，以使转轴在高转速下能承受适当的负荷。

7. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，所述电动机是其中第二电动机部分为定子而第一电动机部分为转子的永磁电动机，它包括诸个固定于所述转子的永磁体和一穿过所述转子的轴向孔用来将转子安装在所述主轴转轴上。

8. 如权利要求 7 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，所述主轴转轴和安装在所述转轴上的转子孔之间是收缩配合关系。

9. 如权利要求 8 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，一液压管道设置在所述转子内，以承接高压流体，用来膨胀将所述转子安装在所述主轴上的转子孔。

10. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，所述主轴转轴在其一端处具有一斜面，并且诸静压轴承位于所述主轴转轴斜面上，以承担轴向和径向的负荷。

11. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，所述主轴转轴具有一延伸通过所述主轴转轴的主轴向孔，并在所述转轴的前端具有一能承接所述加大的刀具保持件的孔的插口部分。

一刀具保持件可以安装在所述转轴前端处的扩大插口部分内，以及一刀具夹头，位于所述转轴孔内，所述夹头可将所述刀具保持件安装在所述插口内，并能将所述保持件释放，以更换所述主轴上的诸切削刀具。

12. 如权利要求 1 所述的主轴和电动机装置，其特征在于，一压力流体源将压力至少为 1000psi 的流体提供给诸静压轴承，并且

所述电动机具有一其内供给有增压空气的电动机空腔，从而能防止轴承流体泄漏进入电动机空腔内。

13. 一种在一用于高速切削加工的机床中的整体式带有电动机的主轴装置，所述主轴装置包括：

一可以围绕一通过所述转轴的中心主轴旋转的主轴转轴，以使安装在其上的切削刀具旋转从而高速切削诸工件；

一用来高速驱动所述主轴转轴的电动机；

一用于所述主轴装置的壳体，其内安装有所述主轴转轴和电动机；

诸个静压轴承，用来安装所述主轴转轴以便在所述壳体内旋转以承担轴向和径向的负荷；

轴承流体运送装置，用来将增压轴承流体运送至诸轴承，以支承在所述主轴



转轴旋转传动过程中所产生的负荷；

一曲径式密封件，位于诸轴承附近、形成一弯曲的从其中通过的通道，以便在所述主轴转轴高速旋转时能限制轴承流体流过所述曲径式密封通道泄漏；以及

诸空气静力式浮环密封件，位于诸曲径式密封件附近，用来承接增压空气以在所述主轴转轴和诸浮环密封件之间的空间内形成一空气膜，以防止当所述主轴转轴不旋转时可能泄漏流过所述曲径式密封件的轴承流体从所述主轴装置中泄漏出来。

14. 如权利要求 13 所述的主轴装置，其特征在于，所述浮环密封件包括其内形成有受限制的空气通道的环体；以及

空气给送装置，用来将高压空气给送到那些流过诸环体的受限制的空气通道的环形密封件，以在所述诸环形密封件和所述主轴转轴之间的空间内形成一空气静力膜，从而限制轴承流体经过所述诸环体的泄漏并使诸密封环保持与所述主轴转轴同心。

15. 如权利要求 13 所述的主轴装置，其特征在于，诸静压轴承在所述转轴上和所述壳体上具有锥形表面。

16. 如权利要求 13 所述的主轴装置，其特征在于，所述电动机包括一固定于所述壳体的定子和位于所述主轴转轴上的转子，所述转子包括诸个固定于其上的永磁体。

17. 如权利要求 16 所述的主轴装置，其特征在于，所述转子具有一可扩张的孔和一用来将高压液压流体送入所述孔的管道系统，从而能将所述转子安装在所述主轴转轴上，所述转子孔可以在流入所述管道系统内的高压液压流体的作用下而扩张，从而能使所述主轴转轴上的所述转子相对于固定的定子具有适当的位置，并能除去高压液压系统，以使所述转子紧紧地夹持在所述主轴转轴上而与之一起旋转。

18. 如权利要求 13 所述的主轴装置，其特征在于，所述电动机的额定输出功率至少为 100 马力。

19. 如权利要求 13 所述的主轴装置，其特征在于，在围绕所述主轴转轴的诸表面内形成有四个静压轴承凹穴。

20. 如权利要求 19 所述的主轴装置，它包括四个形成在围绕所述主轴转轴的诸表面内的低压凹穴，诸低压凹穴位于诸轴承凹穴之间，并且在切削加工过程中可以保持充满低压流体，从而当所述主轴转轴以高速旋转时，能保持诸轴承凹穴内具有高的流体压力。

21. 如权利要求 13 所述的主轴装置，其特征在于，所述主轴转轴具有一邻近于切削刀具的近端部分，以及一与所述近端部分轴向隔开一预定距离的远端部



分，诸静压轴承围绕在所述转轴近端部分和所述转轴远端部分而设置。

22. 如权利要求 21 所述的主轴装置，它包括一用于至少是所述转轴近端部分和远端部分中一个部分处的用于安装轴承的、可移动的轴承安装件，从而使所述轴承可以移动，以便在高速切削加工中能跟踪所述主轴转轴的热膨胀。

23. 如权利要求 21 的主轴装置，其特征在于，所述电动机包括一位于所述主轴转轴上近端部分和远端部分之间的第一电动机部分，以及一位于所述壳体上、能与所述第一电动机部分协同工作的第二电动机部分，从而使所述转轴以高达 20,000 转/分钟的高速度旋转，并且所述主轴转轴诸部分之间的预定间距足够小，从而在转轴启动和高达 20,000 转/分钟之间的驱动过程中避免出现高速主轴的共振振动现象。

24. 如权利要求 23 所述的主轴装置，其特征在于，所述电动机是一永磁电动机，并且所述第一电动机部分是转子，所述第二电动机部分是一定子，并且包括固定于所述转子的诸永磁体。

25. 如权利要求 23 的主轴装置，其特征在于，所述电动机在切削刀具处其额定输出至少为 100 马力，在所述转轴近端部分和转轴远端部分上的诸静压轴承彼此隔开的间距小于 16 英寸。

26. 如权利要求 13 的主轴装置，其特征在于，

安装所述主轴转轴用以使之在壳体内旋转的静压轴承件包括：

诸高压轴承凹穴，它们形成在围绕所述主轴转轴的诸轴承件内以承接高压轴承流体，以在所述主轴转轴旋转过程中支承所述主轴；以及

诸低压轴承凹穴，它们形成在围绕所述主轴转轴的诸轴承件内，并位于诸轴承凹穴之间，以在其内承接低压轴承流体，所述低压凹穴可以保持充满低压轴承流体，以便在所述主轴转轴高速旋转过程中，可以保持诸轴承凹穴内具有高的流体压力。

27. 如权利要求 26 所述的主轴装置，其特征在于，诸静压轴承件包括诸个围绕所述主轴转轴的径向轴承；并且

它还包括一位于所述主轴转轴上的推力环或止推环，以及

与所述推力或止推环一起工作以从所述主轴转轴上卸去推力负荷的静压推力或止推轴承。

28. 如权利要求 26 所述的主轴装置，其特征在于，所述壳体包括一电动机空腔，它具有一整体在所述壳体内的电动机，用以高速驱动所述主轴转轴，所述电动机包括一固定于所述壳体的定子和一转子，所述转子具有一可扩张的孔和一液压管道系统，用以在将高压液压流体送入所述转子管道系统时使所述转子孔扩张，从而使所述转子相对于所述定子固定在所述主轴上的一预定位置，并通过将



高压液压系统从所述管道系统中除去，使所述转子固定在所述主轴上的预定位置上，以将所述转子牢固地夹持在所述主轴转轴上。

29. 如权利要求 28 所述的主轴装置，其特征在于，密封件设置在电动机空腔每一侧上，浮环式密封件包括诸个具有诸空气通道的环体，诸空气通道内送入增压空气，从而在诸环体和所述主轴转轴之间形成一空气阻挡层，以防止轴承流体泄漏入所述电动机空腔内。

30. 如权利要求 26 所述的主轴装置，其特征在于，所述高压轴承凹穴承担所述主轴转轴的径向负荷，至少其中一个轴承件还包括诸个其内运送有高压油的推力或止推轴承区域，以承担所述主轴转轴的轴向负荷。



说明书

整体式主轴和电动机装置以及带有电动机的主轴装置

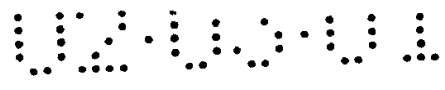
本发明涉及一种用来以准确的方式、高转速地切削诸工件的机床用紧凑型主轴和电动机装置。

在机床切削中，一般，人们都希望所述刀具能具有高的主轴旋转速度和大的功率，因为在许多场合中，使用大的功率和较高的切削速度可以获得较好的、与切削工件表面光洁度和精度、切削率和加工周期等有关的切削结果。例如，可以用强力的粗切削，以在诸如磨削或钻孔之类的加工中使金属切削率达到最大，然后可以借助精加工来修正最终的粗加工和尺寸变化。这些操作中的每一种操作都要在留心机器主轴的刚度及在给定马力下主轴功率方面的限制的情况下，小心地选择工具速度、进给速率、切削深度以使周期达到最短而提高生产效率。

通常，用于这些主轴的电动机都是感应电动机，它们能驱动携带有切削刀具的所述主轴的转轴，所述转轴由诸轴承所支承着作旋转运动。所述主轴转轴可以由所述电动机传动主轴所驱动，其功率由电动机的皮带和/或齿轮来传递，因此所述刀具是通过所述主轴转轴和电动机功率传递齿轮传动链而与所述电动机的传动主轴相连的。切削加工的所需功率与速度和切削力成正比，并且诸轴承和所述机器齿轮内的功率损耗随速度而增大。由于功率损耗与金属切削率有直接的关系，而金属切削率又与生产率有关系，因此，在选择一刀具时，必须考虑主轴电动机的额定功率。为了尽量减少切削的次数，应该使切削的深度在机床功率以及工件的所需切削量的限制范围内尽可能地大。随着切削深度的增大，刀具头上的切削所用力也逐渐变大。因此，当需要进行相对较深的切削时，就需要比较大的功率。此外，某些特殊类型的加工操作和工件原料也决定了一定的功率需求，例如，在对钢材料进行攻丝时，主轴转轴必须相当慢的运转，但仍能为切削提供足够的力矩。很多现有的机床的主轴转轴具有感应电动机，其功率有限，因而切削力必须被限制为不会令机床过载的值。

通常在很多机床操作过程中，功率需求直接与材料的切除速度成正比。对某一特定的工件材料和刀具材料组合而言，主轴转轴的转速有一个最佳的切削速度。“切屑抗力或切屑载荷”是另一个会影响刀具寿命的因素。它是由主轴转轴转速(rpm)和进给速度所决定的。因此，为了在某一可得的功率下使刀具保持一最佳的切削抗力和一最佳的切削速度，切削深度是唯一可变的参数，它直接影响着机器的工作时间。

对传统的铣削操作而言，粗加工的切削深度是大约 0.250 英寸，精加工的切



削深度是 0.025 英寸或更小。在铣削加工例如飞机部件之类的铝合金材料时，通常希望用比较快和比较深的切削，以提高生产率。比通常的切削深度大几倍的例如半英寸或更大数量级的切削深度需要有比很多普通机床大的功率。铝合金的切削速度取决于机床和工件的各种限制条件。通常，铝可以在一个很宽的范围内加以切削。然而，由于铝的热膨胀系数高于大多数通常加工的金属，所以加工零件在尺寸精度方面的要求，使得零件在加工过程中需要保持冷却状态。较高的切削速度有助于保持零件的冷却状态，这是因为在下一旋转过程中被引入零件的大部分热量会在下一次旋转的过程中随着切屑一起被带走。并且热扩散入部件的时间是很快的。此外，较高的速度还会产生较高的金属去除速率，并产生最光整的效果。因此，如果需切削的铝制零件可以被高速地切削，则通常是比较理想的。然而，主要是因为可获得的主轴转速和功率的限制，一般不能以很高的切割速度来加工铝制零件。因此，希望提供一种具有一能产生较深的切削以及较快转速的主轴转轴的机床，特别是它能使铝制零件在加工过程内尽可能地减小升温。

主轴转轴的刚度对不会导致振颤的最大转速有显著影响，所谓振颤是指这样一种状态，即，机床刀具在一个由主轴转轴的自频率所决定的频率下发生共振。换言之，各主轴转轴有它们自己的特性或临界速度，在该临界速度下振动幅度非常大。各主轴转轴不能在它们的临界速度下工作，否则就会发生谐振。由共振或谐振而产生的振颤将会影响加工精度，例如加工容差和零件光洁度。此外，一主轴转轴的刚度是一个非常重要的因素，它会影响由切削力而导致的偏移量。因主轴转轴缺乏刚性而产生的刀具偏移和振颤会导致刀具的过度磨损及断裂、工件的损坏、尺寸不精确以及不能接受的表面光洁度。

现有的用于高速切削工作的主轴转轴是相对比较大的，并具有不很理想的长度/直径比，这种主轴转轴的设计及其所采用的轴承通常不能提供所需的硬度，尤其是在高速下产生高频振动和极端的承载情况时，随着轴承表面开始磨损或疲劳，会在这些表面上产生麻点。为避免在这些主轴装置内发生共振振动，通常需采用较低的主轴转轴速度。然而，例如在某些情况下，希望能以较高的速度、较小的进给量来进行切削，以提高零件的光洁度。当必须达到低的、微英寸级的光洁度时，就必须采用刚性的主轴转轴。因此，希望能设计一种具有刚性的主轴转轴的机床，以避免发生可能导致振颤的共振，从而尽量减小或消除因高频振动和振颤而产生的问题，进而提高生产率并降低生产成本。采用刚性的主轴转轴加上高的速度可以提高光洁度和生产率。

对机床而言，由于构成轴承的零件众多，所以要提供高速旋转并带有滚动接触轴承的主轴转轴来提高加工精度并获得让人满意的表面状况是非常困难的。采用传统的轴承，例如滚柱或滚珠轴承来支承主轴转轴所承受的负载时，特别是在



高速场合下，可能会由于轴承在高离心力的作用下发生疲劳以及其它一些可能会在高速条件下发生的极度的摩擦、发热和负载承接状况等因素而导致精确度不够的问题。此外，这些接触轴承在某一负载下的寿命通常是和转数有关，因而以相对较高的速率工作工作很快就会达到一定的转数，从而就会使滚动轴承元件的寿命相对缩短。美国专利 5, 462, 364 中揭示了采用一种流体动力和流体静力组合的轴承来支承高速旋转的主轴转轴，其中，各流动动力轴承在主轴转轴高速旋转的情况下有效，而静压轴承则在主轴转轴低速旋转的情况下有效。流体动力和静压轴承通常可以实现比传统的滚动轴承为好的性能；具体地说，这些流体动力和静压轴承对轴承的表面缺陷不敏感，它们通常在长时间使用后也不会磨损，并且它们具有较大的承载能力，而且基本上不受会导致滚动轴承产生刻痕并在轴承表面上产生麻点的瞬时过载现象的影响。

在流体动力轴承主轴内，其刚度是随转速的变化而变化的；而在通常的静压轴承中，在一定压力下的液压油可提供一较为均匀的刚度。因此，只要没有达到由泵送压力和轴承结构所确定的最大允许轴承载荷，从而在主轴转轴和固定的轴承之间没有发生接触，该主轴转轴相对于固定的轴承元件的位置就和由静压轴承支承的主轴转轴的转速无关。但是，尽管有着这些优点，但是在轴承内采用压力油还是会产生一些问题，例如，需使轴承流体密封在主轴转轴内以使它们不与切削流体混合，特别是在高速旋转的情况下，采用与快速旋转的部件接触的密封件时，这些密封件会磨损从而会失去其密封能力。很多切削流体都是水-油乳剂，任何一种不相容流体，例如用于静压轴承的液压油对切削流体的污染都会导致工件的光洁度或尺寸发生过度的变化，从而缩短刀具的寿命。当主轴转轴是用于一章动(nutator)型机床时，也就是主轴转轴可改变其相对于水平方向的姿态，从而增大重力对轴承流体的影响、趋向于在主轴转轴倾斜时将流体从主轴转轴内吸出。因此，需要切削主轴转轴和电动机装置在切削速度较低和切削速度较高(例如 20, 000 rpm 或更高)时均能保持一相对恒定的刚度和承载能力。对这样一种主轴转轴和电动机装置而言，需要有这样一种密封系统，它可防止主轴转轴的流体轴承内的油在机床高速工作时和主轴转轴处于静止状态时较多地泄漏到处于加工区内的切削流体中。

静压轴承通常是设计成具有周向隔开的各凹穴，具有一定压力的流体被送至诸凹穴内。诸凹穴由一凸阶(land)或凸槛(sill)区域所包围，通常，一排放槽形成在两相邻凹穴之间的凸槛区域内。当静压轴承以高转速运转时，会产生这样一个问题：诸凹穴内的流体压力的减小减小了静压轴承的承载能力。人们相信，承载能力的降低是因为：因为当高速旋转时扰动的增加而造成油粘度下降，以及在轴承凹穴内产生的流体摩擦力会导致能量损失并降低诸凹穴内的流体压力。在高于

主轴转轴某一转速的高转速上，轴承流体的所谓“粘性泵送作用”开始起主导作用，凹穴内的油被大量泵出；在不补充油的情况下，凹穴内的压力降低，从而对流体轴承的流体静力能力产生强烈影响，这是不希望有的情况。

为此，重要的是要将诸轴承内的间隙保持为最小，以使它们的承载能力足以承担在高转速时被增大的载荷。除了轴承流体的粘性泵送之外，在高温使得所述主轴热膨胀的地方，预设定在固定轴承内的各间隙可能会减小，小于它们的对于适量承载能力来说所必需的最小公差，这样，由于所述主轴的诸构件的热变形，就会产生加工误差。

本发明提供了一种用于机床的整体式主轴和电动机装置，它具有较大的切削速度范围，同时仍具有令人满意的刚度和负荷能力。这种整体式的主轴和电动机装置包括诸静压流体轴承，以提高所述装置的刚度，以便当在将本发明主轴装置在所设计的整个范围内进行切削时，可以提高切削精度。在本发明的较佳形式中，一主轴转轴安装在一壳体框架内能以最多至 20,000 转/分钟或更大的速度进行旋转，一第一电动机部分设置在所述主轴转轴上位于其两端之间，一第二电动机部分设置在所述框架上，与第一电动机部分一起工作以驱动所述主轴转轴旋转。较佳实施例是以 20,000rpm 的速度进行工作的，而别的较小的设计可以以 40,000rpm 的速度进行工作。在所述主轴的两端附近，形成有诸静压轴承，并有供送至那里的高压流体，以支承框架内的主轴使其旋转。通过使用诸静压轴承，本发明的主轴转轴可以在其整个工作范围内具有基本均匀的刚性或刚度和承载能力。此外，由于电动机是与所述主轴制成一体的，并且其一部分位于所述主轴转轴上，因此，它不会象传统的主轴电动机那样，不会因动力传动齿轮或皮带而造成功率损失。

为了能够在约 20,000rpm 的速度下保持刚度，而不会有共振振动，诸静压轴承之间的跨度应该较短。为了能在这样一种较短的跨度中获得较大的功率，例如 100hp，用于整体式主轴和电动机装置的电动机是一永磁电动机，其中第二电动机部分是一固定在框架内的定子，第一电动机部分是一转子，它包括诸个安装在所述装置上可以在所述框架内旋转的永磁体。在本文中，永磁电动机所能提供的功率要大于传统的感应电动机，传统的感应电动机使用的是传动齿轮和/或皮带，因此会有功率损耗。所以，本发明的整体式主轴和电动机装置能够高速运转，即高至 20,000rpm，同时还能在刀具头部提供较大的动力。因此，本发明的主轴不仅可以高速运转，而且能以较大的动力进行使每一次切削都能除去大量金属的强力切削和深切削。

其它的有利特征，特别是在本发明的主轴和电动机装置内的永磁电动机组件中的有利特征是在于所述包括永磁体的转子，是通过收缩配合安装在所述主轴转



轴上的，以便在所述主轴高速旋转过程中在所述主轴和转子之间提供一紧密的、牢固的连接，将高压液压流体供送至那些形成在转子本体内的流体通道或管道内，以使所述孔扩张，从而可以使所述转子相对于安装于主轴框架的定子而位于所述主轴上的适当位置。当所述转子位于所述主轴上某一位置时，可以除去流体压力，以使经扩张的转子孔收缩，并紧紧地夹持在所述主轴转轴上，以与之一起高速旋转。此外，有利的是，这样一种使转子膨胀的设计可以使转子更容易适于在高速切削加工中适应热膨胀。

所述整体式主轴和电动机装置较佳地使用诸密封件，它们与所述主轴转轴是呈非接触的隔开的，从而可以在切削加工过程中将轴承流体保持在所述主轴内部远离切削刀具。诸如前文已指出的，如果这种流体从所述主轴中泄漏出来而流至刀具/工件界面污染了通常是水基溶液的切削流体，那么在流体轴承内使用液压油就会出现问题。而且，在高速切削时，传统的接触型密封件容易磨损，从而使流体从其中泄漏出来。在本发明的整体式主轴和电动机装置中，诸密封件都是非接触式密封件，因此，可以消除由传统接触式密封件在高速旋转时所产生的磨损问题。

诸密封件较佳地包括诸个位于所述主轴的前端和后端处、邻近于诸轴承的曲径式密封件。诸曲径式密封件形成一弯曲的通道，轴承流体必须通过该通道才能从泄漏出来。空气静力浮环式密封件可以设置在位于所述主轴转轴上的诸曲径式密封件附近，并自诸曲径式密封件向外地设置，诸曲径式密封件沿着所述主轴转轴方向位于诸浮环密封件和诸轴承之间。诸浮环密封件具有高压空气，从而能在所述主轴和诸浮环密封件之间形成一空气阻挡层，以将可能通过诸曲径式密封件泄漏出来的轴承流体保持在所述主轴内。以该方式，本发明的诸密封件就能有效地防止轴承流体从所述主轴中泄漏出来而不需要与所述主轴转轴接触，否则尤其是在所述主轴高速旋转时就有可能损伤诸密封件。因此，本发明的整体式主轴和电动机装置具有一密封系统，即使是在高速切削加工中，并且当所述主轴与水平线呈一倾斜角而成各种姿态时，它也能防止轴承流体从所述主轴中泄漏出来而污染切削流体。

诸浮环密封件可以包括多孔的环体，它们安装在所述主轴转轴的前端和后端，并与之隔开，并且都具有高压空气，高压空气能在所述主轴和浮环密封件本体之间形成一空气阻挡层，并且使空气穿过诸环本体的诸孔，以限制轴承流体从其中泄漏出来。

在一较佳形式中，所述主轴转轴在其前端和后端包括诸斜面，并且诸静压轴承都位于所述主轴转轴的诸斜面上，以承担轴向和径向负荷。

藉助一可移动的轴承安装件将至少其中一个轴承件，最好是后锥形轴承件安

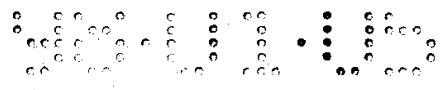
装在所述主轴壳体上，从而当所述主轴旋转时，通过使轴承件移动而将所述主轴上的热膨胀效应减至最小，以将所述轴承和主轴表面之间的间隙保持为一距离，该距离足以在诸静压轴承内提供适当的承载能力。以该方式，在所述主轴上不会有任何过度的负荷，当由于切削加工过程中产生的高温而使主轴部件的金属发生膨胀使表面间隙减小到小于允许公差时本来是会损伤所述主轴的；尽管所述主轴在高温下发生膨胀，仍可以保持加工的精度。后轴承件较佳地是弹力近似 3,000lb 的弹簧加载的构件，此弹性力可以被主轴的膨胀所克服，所述轴承件可以在诸辊子构件上滑动，从而将间隙保持在某一最小的公差值之上，以保持诸轴承内具有适当的承载能力。

所述主轴转轴可以包括一穿过所述主轴转轴的轴向孔，该孔在所述主轴转轴的前端具有该孔的能承接扩大的工具保持件的插口部分(socket portion)。一刀具保持件可以安装在所述经扩张的插口部分内，一换刀件设置在所述主轴孔内，用来将所述刀具保持件安装在所述插口内，并能将所述保持件释放，以更换所述主轴转轴上的诸切削刀具。

一压力流体源能将压力至少为 1000psi 的流体提供给诸静压轴承，以使诸轴承具有一高的承载能力。所述电动机可以具有一其内供给有略加增压空气的电动机空腔，从而有助于防止轴承流体泄漏进入电动机空腔内。

本发明的第一实施例，提供了一用于高速切削加工的机床中的整体式的、带有电动机的主轴装置，所述主轴装置包括：一可以围绕一通过所述主轴转轴的中心主轴旋转的主轴转轴，以使安装在其上的切削刀具旋转从而高速切削诸工件。一驱动所述主轴转轴以 20,000rpm 速度进行旋转的电动机。一用于所述主轴装置的壳体其内安装有所述主轴转轴和电动机。在所述主轴上形成有诸个斜的、与所述主轴的水平主轴线呈一角度的支承表面。在所述壳体内设置有诸斜面，它们面向着并与所述主轴的斜面一起工作，以形成诸静压轴承以承担轴向和径向负荷。将压力至少为 1000psi 的油送至诸轴承以支承在所述主轴转轴旋转过程中所产生的负荷。一曲径式密封件设置在诸轴承凹穴附近，并形成一弯曲的通道，以限制轴承流体从所述曲径式密封通道泄漏。诸空气静力式浮环密封件设置在诸曲径式密封件附近，用来防止可能泄漏流过所述曲径式密封件的轴承流体从所述主轴装置中泄漏出来，尤其是能防止轴承流体从所述主轴的前部泄漏出来而流至刀具/工件界面。

所述电动机具有一约为 135 马力的额定输出功率，并且虽然由于在诸轴承内有流体摩擦损失，在切削刀具处至少约有 100 马力。以该方式，整体式带有电动机的主轴装置可以极其快速地强力地切削工件，而不用担心因刀具头部处缺乏足够的动力，而使所述主轴过载。



所述主轴转轴可以具有一邻近于携带有切削刀具的所述主轴转轴前端的近端部分，以及一与前端近端部分轴向隔开一预定距离的远端部分。诸静压轴承形成在所述主轴近端部分和远端部分周围。所述电动机较佳地包括一位于所述主轴转轴上。在近端部分和远端部分之间的第一电动机，以及一所述壳体上、与第一电动机部分一起工作的第二电动机，以使所述主轴转轴以高达 20,000 转的速度旋转。所述主轴转轴各部分之间的所述预定距离足够小，从而使所述主轴转轴具有一足够大的动态刚度，从而在主轴转轴起动和高达 20,000 转/分钟转速之间的过程中避免出现高速共振主轴振动现象。所述电动机可以是一永磁电动机，其中第二电动机部分是一定子，第一电动机部分是一转子，所述转子包括诸个固定于所述转子的永磁体。所述电动机的额定输出功率至少约为 135 马力，主轴近端部分和远端部分上的诸轴承的间距小于 16 英寸。本发明的主轴装置相对较小，较紧凑，诸静压轴承沿着所述主轴转轴方向紧密地轴向隔开，能提供一非常刚性和坚硬的主轴，从而能以高的旋转速度准确地进行切削加工。

在本发明的另一形式中，提供了一包括诸静压轴承件在内的主轴装置，它设置有诸轴承件，它们包括围绕所述主轴转轴诸高压轴承凹穴，用以承接高压轴承流体以支承所述主轴转轴进行旋转；以及诸低压轴承凹穴，它们位于诸高压轴承凹穴之间以承接其内的低压油。所述低压凹穴在主轴旋转过程中保持充满低压轴承油，以使逆所述主轴的旋转方向的、诸轴承凹穴内的流体的粘性泵送作用不会对诸轴承凹穴内的流体压力产生不利影响。所以，本发明的包括诸低压凹穴在内的主轴装置可以可靠地以适当的轴承压力进行工作，即使是高速旋转的情况下也是如此，由于诸轴承凹穴内的轴承流体的粘性泵送，高速旋转本来是会对诸静压轴承的承载能力产生不利影响的。

图 1 是用于本发明的用于机床的整体主轴和电动机装置的示意图，它示出了一外壳中的主轴转轴和电动机；

图 2 是转轴前端的放大截面图，它示出了转轴的前静压轴承和防止轴承流体从主轴装置中泄漏出来的密封系统；

图 3 是整体主轴和电动机装置后部的放大视图，它示出了轴外壳的后凸缘部与一后轴承件之间的可移动的轴承安装件；

图 4 是本发明另一主轴和电动机装置的前视图，它示出了径向轴承凹穴的用虚线表示的轴承流体管道；

图 5 是在所述另一主轴和电动机装置图 4 中沿线 5-5 截取的剖视图，它示出了包括液压流体通道的电动机的一转子，用于将该转子收缩配合在转轴上；

图 6 是类似于图 4 的另一主轴和电动机装置的前视图，它包括用于径向轴承凹穴之间的低压凹穴的、用虚线表示的轴承流体管道；

图 7 是在所述另一主轴和电动机装置前部，沿图 6 中线 6-6 截取的放大的剖视图，它示出了基本上类似于图 2 密封系统的旋转和止推轴承的密封系统；

图 8 是其中一个轴承件的立体图，它示出了诸径向轴承凹穴和在径向轴承凹穴之间的诸低压凹穴；

图 9 是图 8 轴承件的视图，它示出了在轴承件中的以虚线表示的轴承流体管道；以及

图 10 是沿图 9 的线 10-10 截取的图 8 和 9 的轴承件的示意图。

在图 1 中，示意性地示出了本发明整体主轴和电动机装置，并总的用标号 10 表示。整体主轴和电动机装置 10 包括一固定外壳 12，在该固定外壳 12 内的一转轴 14，它由一也安装在该外壳 12 内的电动机 16 驱动而旋转。转轴 14 可以以每分钟 20,000 转的高速转动，并以刚性方式用总的用 18 表示的形成在外壳 12 中的转轴 14 周围的静压轴承所支承。

更具体地说，转轴 14 前端 14a 和后端 14b 的周围有静压轴承垫(bearing pad)20。最好在转轴 14 的前端 14a 和后端 14b 周围形成四个等间距的轴承垫 20。前轴承垫与后轴承垫 20 之间的轴向距离比较短，这样即使电动机 16 驱动转轴 14 高速旋转，该转轴 14 也能刚性地安装在外壳 12 内并具有较高的动态刚度。此外包括伸出轴承 18 那一部分在内的转轴 14 的总长度比较短。前轴承垫与后轴承垫 20 之间的轴向距离较短的短的转轴 14 提高了临界速度阈(critical speed threshold)，即提高了出现共振的临界速度阈，在本发明的情况下，临界速度阈高于 20,000rpm。在本发明的实施例中，各轴承 18 的中心的跨度对于 100 马力电动机约为 16 英寸。显而易见，这个距离和功率只是用来举例说明而本发明并不限于这样的数字。即，在转轴前端 14a 上的靠近转轴的切削刀具 22 安装的轴承垫 20(下面将要更详细地描述)与在转轴后端 14b 上的远离切削刀具 22 的轴承垫 20 之间的轴向间距为 16 英寸。这样，由于所提供的结构相当紧凑的整体主轴和电动机装置 10 具有较短的轴向间距，转轴 14 的共振得以避免，在用高切削速度和大负荷加工时仍能对零件进行精密的切削。

电动机 16 是一种永磁电动机，该电动机 16 包括一安装在固定外壳 12 上的定子部 26 和一安装在也具有永久磁体的转轴 14 上的转子部 24。如前所述，为了提高转轴 14 的临界速度，它的长度被设计成相当短，这也决定了以整体结构设置在转轴 14 上的转子 24 的长度。因此，电动机 16 必须能够在短跨距中提供大的动力，这使本发明的主轴装置 10 所提供的动力容量超过了目前的采用感应电动机转轴的功率容量。在此，100 马力电动机的轴向长度为 9 英寸，定子的直径约为 9 英寸。实际电动机的横截面看上去比本申请的附图中所示的要方一点。本发明的永磁电动机 16 避免了使用已有感应电动机的传送带和齿轮以及在这些



部件中相应的功率损耗。此外，本发明永磁电动机 16 能够以比传统感应电动机短的跨距把较高的马力传送到刀具头。尽管永磁电动机比感应电动机昂贵些，但它还是值得的。因此，本发明结构紧凑的高速主轴装置 10 除了具有较高的速度容量和改进的刚度之外，其马力也有所增加，从而能在需要多种类型的切削加工の場合中如在钻孔和镗孔操作中的粗切削和精切削中提供较大的灵活性，同时也提高了进行这些不同类型加工操作中的效率。

较佳的是转子 24 有一个细长的环形体 24a，如图 5 中有关另一个转轴和电动机转轴 200 所示，该环形体 24a 与转轴是收缩配合连接的。在主轴和电动机装置 200 中所用的转子环形体 24a 包括形成在其前面和后面的环形凹槽 27，其中在前环形凹槽的底部凹陷的表面 27a 紧靠形成在转轴上的凸肩以使转子部 24 定位于其合适的轴向位置上。轴向通道 29 形成在转子体 24a 中并沿转子体 24a 的长度纵向延伸，并在后环形凹槽 27 的底部凹陷表面 27b 开口。转子体 24a 的圆周上间隔设置数个纵向通道 29，以把高压液流送到从纵向通道 29 径向延伸的短径向通道 31 中。最好是，为每一纵向通道 29 提供两个轴向间隔开的径向通道 31。通道 31 径向延伸到一形成在转子体通孔表面 33 的环形槽 31a 的开口，该环形槽 31a 围绕转轴延伸并容纳来自轴向对齐的径向通道 31 的高压流体以在转轴表面与转子孔 33 之间输送高压油。以此方法，可以使转子部 24 的转子体 24a 膨胀，使它能相对于固定在外壳框架 12 的定子部 26 适当地定位在转轴上。转子体 24a 适当定位之后，高压液压可从纵向通道 29 除去以使转子体 24a 尤其是其通孔 33 压配在转轴表面上，以把转子部 24 紧固地夹持在转轴上而一起旋转。可膨胀的转子体 24a 还有一个有利的方面，当转轴例如在其高速运转的过程中产生热膨胀时，可膨胀的转子体 24a 更易适应转轴的膨胀而不会使电动机 16 产生问题。

下面将专门描述主轴装置 10 的轴承 18。转轴 14 包括一在其上安装电动机转子部 24 的大直径中心段 15 和在其两侧的转轴端部 14a 和 14b。转轴的端部 14a 和 14b 包括朝各自的前面和后面的小直径环形部 30 和 32 逐渐缩小的锥形段 17 和 19。前面和后面的锥形段 17 和 19 包括各自相对于转轴 14，转轴绕着它旋转的纵向轴线 37 倾斜的外表面 34 和 36，前外壳部 12a 和后外壳部 12b 各包括一径向朝内凸出的轴承部 38 和 40，在这些轴承部 38 和 40 上靠近和面对转轴 14 上的各个倾斜的表面 34 和 36 设置倾斜表面 38a 和 40a。转轴 14 的倾斜表面 34 和 36 以及在轴承部 38 和 40 上相对应的倾斜表面 38a 和 40a 共同形成静压轴承垫 20，该静压轴承垫承受主轴装置 10 在转轴 14 的旋转驱动和加工运转过程中所产生的径向和轴向的负荷。与传统接触式滚动轴承相比，轴承垫 20 提供了改进的刚度，减少了活动零件的数量，使本主轴装置 10 不易于振动，而使用传统的轴承时，振动对转轴来说是一个严重的限制。此外，静压轴承垫 20 提供了一个不同于传

统支承的阻尼功能，即如果转轴 14 开始振动，轴承垫 20 中的流体将会在产生共振之前起到消除和阻尼振动的作用。业已表明，有了静压轴承，本文的主轴装置 10 的刚度范围对于短的刀具可以大约达到 750,000lb/in，对于较长的刀具大约可以达到 350,000lb/in。

如图 1 所示，通过油再循环系统向轴承垫 20 输送加压的油，该再循环系统包括总的用 42 表示的轴承供油装置。供油装置 42 包括分别形成在前外壳部 12a 和后外壳部 12b 中的送油通道 42a 和 42b，以把油从供油装置送入外壳 12 的内部再到轴承垫 20。较好的是，供油装置能把至少加压到 1000psi 的油送到轴承垫 20，以支承在转轴 14 高速旋转驱动的过程中所产生的增加的负荷。更好的是，供应到轴承垫 20 的油的压力范围在 1200 至 1500psi 之间。如前所述，采用静压轴承，压力油使轴承本身具有承载能力。这样，有了高压油，本文的转轴 14 的承载容量有所增加，该承载容量在启动到高达 20,000rpm 的旋转驱动速度的整个范围内基本上是不变的，那是因为静压轴承中的承载容量与转轴 14 的转速无关。只要没有达到最大容许轴承负荷值，转轴 14 与外壳轴承部 38 和 40 就不会接触，以这种方式，主轴装置 10 的承载容量和刚度在转速高达 20,000rpm 时仍能保持不变。

下面结合图 2 描述总的用 28 表示的电机传动主轴装置 10 的密封系统。图 2 仅示出设置在转轴 14 前面的密封系统 28，而参考图 1 就能看到转轴 14 的后面被相似地密封，所以对前密封系统 28 的描述同样适用于后密封系统，它们之间只有很小的差别。由于用了具有液压油的静压轴承，重要的是不能有任何泄漏从主轴装置 10 流到供应给刀具与零件之间的接触面的切削液，因为在机加工中所采用的该切削液或冷却剂通常是一种与轴承中所使用的静压油不相容的水基水/油乳液。因此，要避免主轴装置 10 的任何泄漏，因为含流体油对冷却剂的污染会影响冷却剂的冷却和去切屑功能。轴承流体的泄漏问题对本发明的主轴装置 10 特别重要，因为与转轴 14 接触的传统密封件在以高速驱动的本发明的转轴 14 时会被磨损。所以，在此的密封系统 28 采用非接触密封件，它们相对于转轴 14 尤其是相对于转轴的环状部 30 和 32 是间隔设置的。

更具体地说，前外壳部 12a 和后外壳部 12b 分别包括轴向延伸的环状部 44 和 46。在前环状部 44 和后环状部 46 的轴向外端，连接着各自的前盖件 48 和后盖件 50，前后密封系统 28 就安装在这些盖件 48 和 50 上。为了把轴承油密封在主轴装置 10 内，在转轴的每一端设置三个密封件，其中第一个是在它们的相对表面之间具有很紧的间隙的曲径式密封件 52。曲径式密封件 52 分别设置在轴承垫 20 附近的形成于前后盖件 48 和 50 与前后外壳部 12a 和 12b 之间的前腔室 54 和后腔室 56 中，具体地说，在其各个环状部 44 和 46 与轴承部 38 和 40 之间。当



转轴 14 旋转时，曲径式密封件 52 的密封是很有效的密封，但当旋转中止时，有少量的轴承油会通过曲径式密封件 52 泄漏，而其余的密封件则起到有效地防止转轴 14 不旋转时的泄漏的密封作用。

曲径式密封件 52 包括一在转轴环形部 30 和 32 上的锥形部 58，该锥形部 58 靠近环状部 30 和 32 与对应的转轴锥形段 17 和 19 的交界处并从其轴向朝外。这样，曲径式密封件 52 直接靠近轴承垫 20。曲径式密封件的锥形部 58 包括一对同心的环状圈 60 和 62，它们配合在一起而在其间形成一外环状凹槽 64。内环状圈 62 和转轴的鼻部 30 配合形成一在它们之间的内环状凹槽 66。一固定的曲径式密封件 68 安装在盖件 48 的朝后敞开的凹槽部 70，它包括内外同心的环状圈 74 和 72，它们与锥形部 58 的相对应的内外环状凹槽 66 和 64 相配合，在其表面之间只略微有间隙。这些表面之间的间隙的范围最好在 0.005 至 0.010 英寸，在此所描述的实施例中使用的是 0.005 英寸。内环状圈 74 与转轴鼻部 30 相距很近，并与外环状圈 72 一起形成一环状圈 62 可伸入的环状凹槽 76。锥形部的外环状圈 60 径向朝外地与固定密封件的外环状圈 72 靠近。显而易见，通过锥形部 58 的环状圈 60 和 62 与固定密封件 68 的环状圈 72 和 74 之间的紧密互配，设置了一个在转轴 14 旋转期间限制任何油通过的曲折通路。因此，油要从轴承垫 20 泄漏流出主轴装置 10，就必须首先通过由曲径式密封件 52 形成的曲折通路。

为了保证任何少量的通过曲径式密封件 52 泄漏的油不会漏出主轴装置 10，尤其是当转轴 14 不旋转的时候，从转轴环形部 30 和 32 上的曲径式密封件 54 的轴向向外设置一对环状浮环式密封件 78 和 80。环状圈式密封件 78 和 80 称为浮环式密封件是因为它们不与转轴 14 接触，而是浮在一空气压力层上，对此，本文中将会详细描述。在靠近位于浮环式密封件 78 和 80 之间的转轴鼻部 30 的盖件 48 中形成一排泄槽 82。可通过内浮环式密封件 78 泄漏的任何少量的油由于作用在其上的真空而可被吸出并通过排泄槽 82 排出主轴装置 10。外浮环式密封件 80 则阻断任何其余的油从主轴装置 10 中泄漏出来。以此方法，本文的密封系统 28 防止了流体从轴承垫 20 泄漏到主轴装置 10 的外部，尤其是泄漏到在刀具与零件之间接触面的切削液中。

浮环式密封件 78 和 80 具有来自空气压缩机 84 形式的空气供应装置的高压空气，如图 2 所示。压缩机 84 的空气在浮环式密封件 78 和 80 与转轴鼻部 30 之间的接触面形成最好在 40 至 80psi 的一层高压空气。浮环式密封件 78 和 80 与盖件 48 的邻近表面之间的紧密配合的范围约在 0.0005 至 0.001 英寸之间。高压进入各个浮环式密封件 78 和 80 的密封体 78a 和 80a 外圆周表面周围的腔中。如在下文将要更详细描述图 7 中另一个主轴和电动机装置 200 中所示，它们可以是多孔件，或者在其周围径向钻若干孔 81 以在轴与浮环式密封件之间形成一空气

静力膜。可把 O 形环 83 加在浮环式密封件的两侧，以提高空气静力密封的效率。诸细孔或孔 81 可起到限流器的作用，以在浮环式密封件的内圆周表面与转轴的外圆周表面之间形成一空气静力膜防止油的泄漏。

如前所述，曲径式密封件 52 和空气静力浮环式密封件 78 和 80 也以彼此类似的相对方位设置在转轴后轴部 32 上。但是，转轴 14 的前鼻部 30 还包括一防止刀具与零件之间的接触面的切削液进入主轴装置 10 的内部的前曲径式密封件 86。更具体地说，盖件 48 包括一前开口凹槽 88，一环状密封安装件 90 装在其内。固定于密封安装件 90 的是一曲径式密封件 86 的外环状固定部 92，该外环状固定部 92 包括径向凸起的齿 92a。曲径式密封件 86 的旋转密封部 94 设置在转轴鼻部 30 上，并包括与齿 92a 互配的径向朝外凸起的齿 94a，以便形成一用于密封切削液使不能进入主轴装置 10 的曲折路径。一密封盖 96 安装于盖件 48 的前表面，以保护曲径式密封件 86 避免在机加工过程中所产生的切屑。

在轴承垫 20 的另一侧，在各自的外壳部 12a 和 12b 中形成前内空穴 98 和后内空穴 100。轴向朝内泄漏到空穴 98 和 100 的轴承垫 20 中的静压轴承油从这些空穴中排出，并返回到供油装置 42 的储油槽，在储油槽中油被重新过滤并再被泵回到轴承垫 20 中，以通过储油槽再循环液压油。外壳部 12a 和 12b 各自包括朝内敞开的凹槽 102 和 104，以分别安装固定的密封安装件 106 和 108。装在其相应的凹槽 102 和 104 中的密封安装件 106 和 108 构成了设置浮环式密封件 114 和 116 的环状密封腔 110 和 112。浮环式密封件 114 和 116 防止未排出空穴 98 和 100 的轴承油泄漏到电动机空穴 118 中。此外，电动机空穴可具有略微加压的空气，诸如来自工厂用空气源 (shop air source) 的压力范围为 2 至 3psi 的空气，以进一步限制泄漏油进入电动机空穴 118。此外，在电动机空穴 118 中设置一油排泄口 120，使油返回到供油装置 42 的储油槽中，这样如果油进入空穴 118，电动机 16 也不会受到损伤，油将从其中排出。

转轴 14 还设有一贯穿它的轴向孔 122，一传统的刀具转换装置 124 安装在其中。刀具转换装置包括在其朝前端的夹持件 126，以把一传统的 HSK 刀具适配器 128 夹持和固定到转轴 14 上。刀具适配器 128 把切削刀具安装在其上，如图 1 中的主轴装置的前面分离出来的部分所示。轴向孔 122 的前端包括一直径放大的插口部 130，该插口部 130 包括容纳刀具适配器 128 的一相对应的渐缩部 132 的锥形壁。通过操作刀具转换装置 124 把适配器渐缩部拉入插口部 130 中，刀具转换装置 124 的夹持部 126 就可置于适配器渐缩部 132 的一孔部 134 中。后弹簧 136 保持刀具适配器 128 位于转轴 14 的插口部 130 中，以使它们一起旋转。

请翻到图 3。图中示出了一种考虑到转轴 14 热膨胀的经过改变的主轴装置 10 的后端。进行这种改变的方法是使后轴承件 140 有一个可移动的轴承安装件，



图中总的用 142 表示。它允许在转轴膨胀的过程中在外壳 12 的后部和后轴承件 140 的各个部分之间有相对运动，以把面对面的轴承表面之间的间隙保持在某一预定距离内，而低于该距离时，后轴承垫的负荷承受能力会受到不利的影响，在本发明中，该间隙约为 0.0015 英寸。因此，本来会引起间隙下降到最小间隙距离之下的转轴 14 的热膨胀会通过可移位轴承安装件 142 引起后轴承件 140 移位，以跟踪转轴的膨胀，使间隙保持在可维持静压轴承垫 20 中的合适的承载能力的最小极限值之上。

更具体地说，可位移轴承安装件 142 最好包括呈 Belleville 弹簧形式的其内径圆周边缘抵靠在其内表面装有后轴承件 140 的轴承支承件 146 的径向凸缘部 146a 的环状弹簧件 144。可位移轴承安装件 142 还包括一滚子件 150 的滚子保持架 148，该保持架 148 与轴承支承件 146 的外表面配合，如图 3 所示。外壳框架 12 包括一后外壳部 152，该后外壳部 152 包括一与轴线 38 同轴的内圆周表面 152a，该内圆周表面 152a 设置在相对于轴承支承件 146 的滚子保持架 148 的外侧上，并与其滚子件 105 配合。后外壳部 152 包括一由垂直台肩表面 154a 构成的环状切口 (annular cutout) 154，该环状切口 154 从内圆周表面 152a 的轴向内端延伸，并径向朝外到与轴线 38 同轴的圆周表面 154b。

Belleville 弹簧件 144 的径向外边缘 144a 设置在环状切口的表面 154a 和 154b 的拐角交界处，其径向内端 144b 抵靠在轴承支承凸缘 146a 上。弹簧件 144 的径向内端轴向朝内地与径向朝外端间隔开来，以便使环状弹簧件 144 具有略微倾斜的锥形形状，使偏置轴承支承件 146，从而当转轴膨胀时，后轴承件 140 就抵靠后外壳部 152。轴承支承件 146 纵向延伸到切口垂直台肩 154a 的轴向朝内的一个位置，以提供足够的间隙，从而把锥形弹簧件 144 紧紧地容纳在凸缘 146a 与切口 154 的拐角之间。当转轴 14 在高速切削作用过程中承受热膨胀时，转轴 14 与后轴承件 140 的面对面的倾斜表面 36 和 140a 之间的间隙可以略有变化，但是，由于有了可位移的轴承安装件 142，可维持该间隙，使得它们不会下降到适当承载所必须的公差之下，例如在约 0.0015 英寸的数量级。一旦转轴 14 膨胀，使得弹簧偏置力约 3,000lbs 被克服，由于轴承件 140 和在滚子件 150 上的有关轴承支承件 146 的移动，使轴承支承件凸缘 146a 抵靠在弹簧件 144 的径向内部并把它轴向朝外推向区外壳部 152 的垂直表面 154a，间隙将减少到最小公差，并将通过跟踪转轴的膨胀而维持这个间隙。以此方法，转轴 14 的热膨胀不会对静压轴承的承载容量有不利影响，这一点当转轴以预计的高转速、对于本文的转轴来讲即高达 20,000rpm 运转时尤其重要。

下面将描述图 4-10 的另一个主轴和电动机装置 200。主轴和电动机装置 200 与前面描述的主轴和电动机装置 10 的主要区别是静压轴承的构造，因为主轴和



电动机装置 10 采用倾斜的表面以形成承受转轴 14 的轴向和径向两种负荷的轴承垫 20，而轴和电动机 200 采用分开的径向轴承 201 和止推轴承 203。径向轴承 201 具有诸凹穴 202，止推轴承 203 具有诸槽 204，以分别承受转轴 206 的的径向和轴向负荷。装置 200 的永磁电动机是一种水冷却 135 马力电动机。采用 135 马力电动机，除去因轴承 18 中的流体摩擦而造成的功率损耗，刀具头可获得 100 马力。轴和电动机 10 的密封系统 28 基本上与轴和电动机 200 的密封系统 208 相同。主要区别是空气静压浮环式密封件 78 和 80 用的是一多孔的体，而空气静压浮环 210 和 212 包括打通本体的径向通道 81 以替代多孔体。为了密封，O 形环设置在浮环的两侧。高压空气进入在具有起限流器作用的多孔或钻孔的浮环 78、80、210 和 212 周围的腔中，以在浮环的内圆周表面与转轴的外圆周表面之间形成一空气静力膜，以防止油的泄漏。浮环 78、80、210 和 212 仅承载它们自己的重量，空气静力膜使圈浮起，甚至姿态改变也保持它同心。浮环式密封件 210 和 212 的本体由碳材料制成，所以即使与转轴 206 有一些接触也不会损坏转轴 206。此外，主轴和电动机 200 是与一章动器(nutator)型机床一起使用的，其中该章动器型机床是改变姿态的，例如在大约相对于水平朝上 35° 与相对于水平朝下 35° 之间改变。因此密封系统 208 的效率对于本文的章动器型主轴和电动机装置 200 尤为重要。在这方面业已表明，即使发生倾斜，空气静力浮环式密封件 210 和 212 的使用也可以防止轴承流体从主轴装置 200 泄漏，因为虽然章动器发生倾斜，例如使转轴倾斜 30° 的斜度，但空气静力膜将使浮环式密封件与转轴保持同心。

如前所述，主轴和电动机装置 200 采用分开的径向轴承 201 和止推轴承 203，以承受转轴 206 的径向和轴向负荷。在主轴装置 200 的前端 200a 设置径向轴承的凹穴 202 和止推轴承的槽 204，而在后端 200b 仅设置径向轴承的凹穴 202。在这方面，转轴 206 包括一靠近其前端的环状止推环部 214，该环状止推环部 214 从转轴 206 的基本不变的小直径的剩余部分径向朝外延伸。止推轴承 203 设置在环状止推环部 214 的两侧，如图 5 和 7 所示。径向轴承 201 具有凹穴 202，该凹穴间隔地设置在转轴 206 的圆周周围，在止推环部 214 的轴向向前，而止推轴承槽 204 延伸在其周围。

更具体地说，主轴和电动机装置包括一外壳框架 216，该外壳 216 包括一在装置 200 的前端 200a 的前凸缘部 218，该凸缘部 218 包括一轴向延伸的圈部 220。一前盖件 222 装在圈部 220 的前端，前部密封系统 208 安装到与主轴装置 10 的盖件 48 和密封系统 28 相类似的盖件 222 的内表面。凸缘部 218 包括一纵向朝后延伸到垂直和径向朝内延伸的壁表面 226 的内圆周孔表面 224，壁表面 226 则具有从其纵向朝后延伸的阶梯表面 228，以该阶梯表面 228 平行于轴线。阶梯表面

的直径小于孔表面 224 的直径，它们相差的距离与垂直壁表面 226 延伸的距离相对应。转轴的止推环部 214 与外壳部的阶梯表面 228 轴向对齐并径向朝内与之间隔开。

一具有小直径部 232 和大直径凸缘部 234 的静压轴承件 230 安装于外壳部的前凸缘部 218，其中大直径凸缘部 234 的外直径表面抵靠在其后面的孔表面 224，小直径部 232 抵靠阶梯表面 228，如图 5 和 7 所示。轴承件 230 包括一容纳贯穿它的转轴 206 的轴向通孔 236。径向轴承凹穴 202 形成在通孔 236 的表面，而其中一个止推轴承的圆周槽 204 形成在轴承件小直径部 232 的径向朝内略微上升的环状壁部 232a。因此，止推轴承 204 的 DN 值(轴承的毫米直径与所述轴承所能支承的转轴的最大转速的乘积)是较高的，这是因为主轴装置 200 中为约 120 毫米的较大直径而径向轴承 202 的直径较小约为 85 毫米的缘故。径向轴承 202 的最大 DN 约为 1,700,000，止推支承 204 最大 DN 约为 2,400,000，使得脱离主轴装置 200 的轴承流体中的大部分热量源出于止推轴承 204。

本发明的径向轴承 201 的另一个特征是在相邻的高压径向轴承凹穴 202 之间设置低压凹穴 238(图 10)，以使轴承凹穴 202 中的流体压力保持在能适当承载的足够高的程度上。这使粘性泵送对轴承凹穴 202 中的高压油的不利影响达到最小。如前所述，静压轴承凹穴 202 通常被类似于在凹穴 202 周围的通孔 236 表面的凸阶或凸槛区域(land or sill area)240 的诸凸阶区域所包围，在凹穴 202 之间有轴向延伸的排出槽 244，以为凹穴 202 中的轴承流体提供有限制的排出流路径。

为了使轴承凹穴 202 中的流体压力即使在本文的主轴和电动机装置 200 在高速运转过程中也能维持在足够高的水平上，向低压凹穴 238 提供低压液流或油，以在主轴装置 200 的整个运转过程中使它们保持充满，而不是形成为开口端的排出槽。凹穴 238 包括在其相对端的相对端壁 240，这些端壁包括从凹穴 238 的端部中心延伸到凸阶区域 240 的边缘的轴向延伸的小缺口 244，以把凹穴 238 中的油排出。凹穴 238 中的低压油仅用来使粘性泵送对在径向轴承凹穴 202 中压力的不利效应达到最小。通过提供其中具有端壁 242 和小缺口 244 的低压流凹穴 238，油将不会自由地从凹穴 238 流出经过台阶区域 240 的边缘。业已发现，小缺口 244 起到压力限流器的作用，这样把一定量的反压或回压加到液压系统，使轴承凹穴 202 中的压力在转轴 206 的高速旋转时保持足够高而具有适当承载容量，而不受凹穴 202 中的轴承流体的任何粘性泵送作用的影响。

为了把例如 1200 至 1500psi 的高压油送到径向轴承的径向轴承凹穴 202，外壳凸缘部 218(图 4 和 5)包括径向和轴向流体供应管道 246 和 248，其中径向管道 246 从凸缘部的大直径外表面 218a 径向延伸到轴向管道 248 的轴向内端，轴向管道 248 纵向朝外延伸并在外壳部 218 的垂直壁表面 226 开口，如图 5 所示。垂直

壁表面 226 紧靠轴承凸缘部 234 的环状表面 250，轴向管道 248 的端部则与在轴承凸缘部 234 中的轴承件轴向输送管道 252 开口对齐。轴承件轴向管道 252 从它们在轴承件凸缘部 234 的内环状表面 250 上的开口延伸到轴承件径向管道 254，该径向管道 254 径向朝内延伸并在径向轴承凹穴 202 的输入口 256 处开口。

在较佳形式中，轴承件具有四个径向轴承 201，它们各自的轴承凹穴 202 等间距沿孔 236 圆周布置。高压油通过在凸缘部 218 中的有关径向和轴向供应管道 246 和 248 和在轴承件 230 中的轴向径向供应管 252 及 254 供应给轴承凹穴 202 并进入位于中心的输入口 256 而后进入凹穴 202。因此，在主轴装置 200 中各轴承凹穴有一个独立的液压管路系统供应高压轴承流体以承受转轴 206 的负荷。

为了向低压凹穴 238 输送低压油，轴承凸缘部 218 包括一个径向供应管道 258(图 7)，该管道 258 在表面 218a 上凸缘部开口并径向延伸到内孔表面 224。在轴承凸缘部 234 的外面周围的一圆周槽 262 中形成输入口 260，径向供应管道 258 的排出口与其中一个输入口 260 对齐，如图 6 和 7 所示。径向输送管道 262 从凸缘槽 262 中的有关开口 260、通过轴承件 230 延伸到低压凹穴 238 的输入口 264。这样，低压流体通过供应管道 258 供应到槽 262。流体经一个对齐的输入口 260 输送到其相关的输送管道 262 并通过在槽 262 中的流动到其余的输入口 260，以便把低压流体送到其余的输送管道 262 并流出凹穴 238 的诸口 264。因为如前所述低压流体只用于使凹穴 238 保持充满，送到每一凹穴 238 的流体的紧密控制不象轴承凹穴 202 那么重要，在那里为了承载的目的高压流体通过形成在外壳部 218 的独立的管道系统供应到每一凹穴 202，这与使用单根供应管 258 供应低压流体使凹穴 238 保持充满是不同的。

为了向轴承件上升部 232a 中的止推轴承 203 供应高压油，外壳部 218 包括在表面 218a 开口并径向延伸到外壳部阶梯表面 228 的径向供应管道 264(图 7)。轴承件小直径部 232 的一台肩表面 266 紧抵外壳阶梯表面 228，并具有一径向输送管道 268 的输入口，该径向输送管道 268 形成在与供应管道 264 对齐的轴承件小直径部 232 中并径向朝内向轴向输送管道 270 延伸。输送管道 270 轴向朝内延伸，并在轴承件小直径部 232 的上升的环状表面 232a 开口，使轴承流体直接进入转轴的止推环 214 的轴向外侧上的圆周形止推轴承槽 204 中。

止推环 214 的轴向内侧上的槽 204 供有高压油，该高压油来自于与外壳部 218 中的凹穴供应管道 258 轴向间隔开并从表面 218a 延伸到轴向供应管道 274 的径向供应管道 272，如图 7 所示。一止推轴承件 276 安装于外壳部 218 的后内端，它具有一小直径部 278 和一大直径凸缘部 280 的构造与轴承件 230 相似。轴向供应管道 274 与轴向输送管道 282 对齐，该轴向输送管道 282 从纵向朝内离开转轴止推环部 214 的凸缘部 280 的环状表面 284 延伸到径向输送管道 286。输送管道 286

径向朝内延伸到另一径向朝内与轴向管道 282 间隔开的轴向输送管道 288，轴向管道 282 使流体改道反向转轴止推环 214 并把轴承流体输送到形成在轴承件小直径部 278 的略微上升的环状部 278a 的止推轴承槽 204 中的一输入口。因此，高压轴承流体被送到在转轴环部 214 两侧的圆周槽 204 中，以承受转轴 206 的轴向止推负荷。

如前所述，转轴止推环部 214 径向朝内与轴承阶梯表面 228 间置开以提供一排泄区域 290，由从该排泄区域被抽离主轴装置 200，然后冷却、过滤并在压力下泵送到轴承 201 和 203，以重复循环在本文的主轴和电动机装置 200 中所采用的液压流体。排泄区域 290 的两侧由面对的轴承件小直径部 232 和 278 所界定，排泄区域 290 容纳轴向朝内排出径向轴承凹穴 202 和低压凹穴 238 以及径向朝外排出止推轴承槽 204 中的油，这些油通过排出口 292 而被吸出区域 290。

与主轴装置 10 相类似，为了使轴承流体离开永磁电动机，电动机空穴 294(图 7)设置有略微加压的约为 5psi 的空气。止推轴承件 276 具有一轴向通孔 296，其表面径向与穿过通孔 296 的转轴 206 间隔开，以在它们之间提供一小的容隙以形成一毛细密封，以免轴承流体从止推轴承件上升部 278a 的径向向里的空穴 298 轴向朝内传送。此外，一空气静压浮环式密封件 300 设置在止推轴承件 276 的一轴向朝内开口的凹槽 302 内，以防止通过毛细密封泄漏的流体能够进入电动机空穴 294。

参阅图 5，从图中可以看到，主轴和电动机装置 200 的后端 200b 的构造除有关止推轴承 204 的结构之外基本上与前端 200a 相类似。因此，在转轴 206 的后端部上没有与转轴 206 的前端部上止推环部 214 相类似的对应止推环部，而是，包括它们的管道系统在内的径向轴承是相类似的，密封系统基本上彼此对应，因此，在此不再详细描述。

虽然已举例说明和描述了本发明的几个具体的实施例，但应认识到，本技术领域的熟练技术人员对此可作种种改变和变动，这些落在本发明的基本精神和范围内的改变和变动都拟被所附的权利要求书所覆盖。

说明书附图

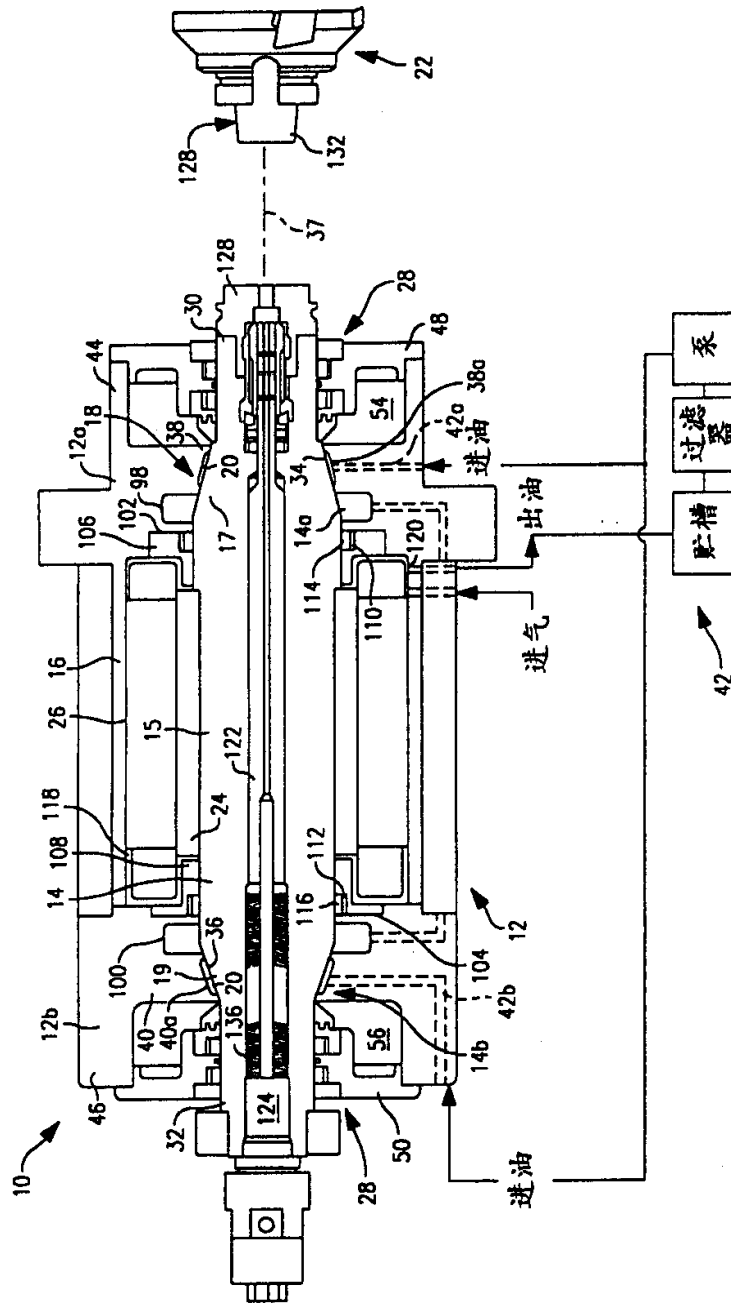


图 1

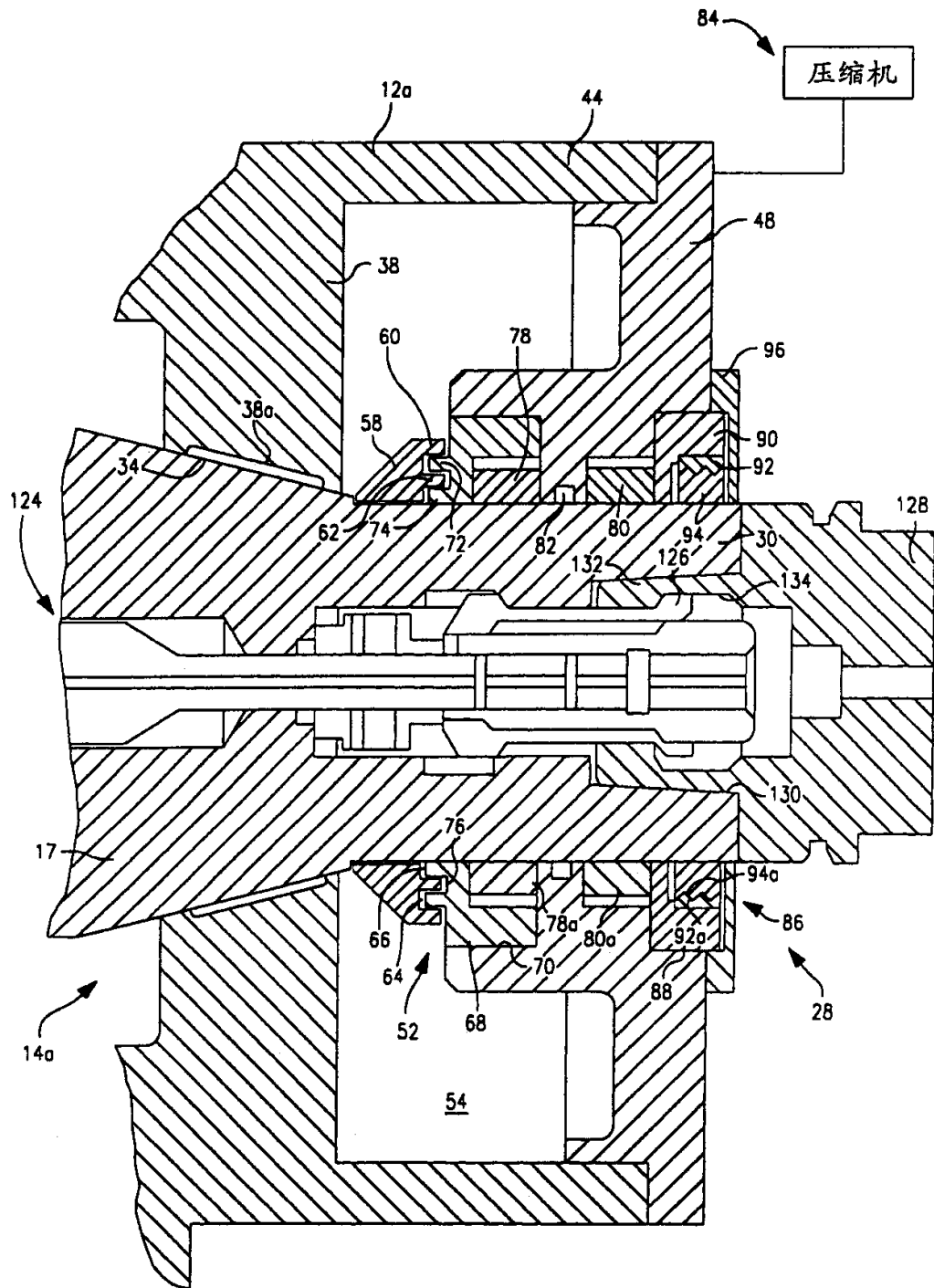


图 2

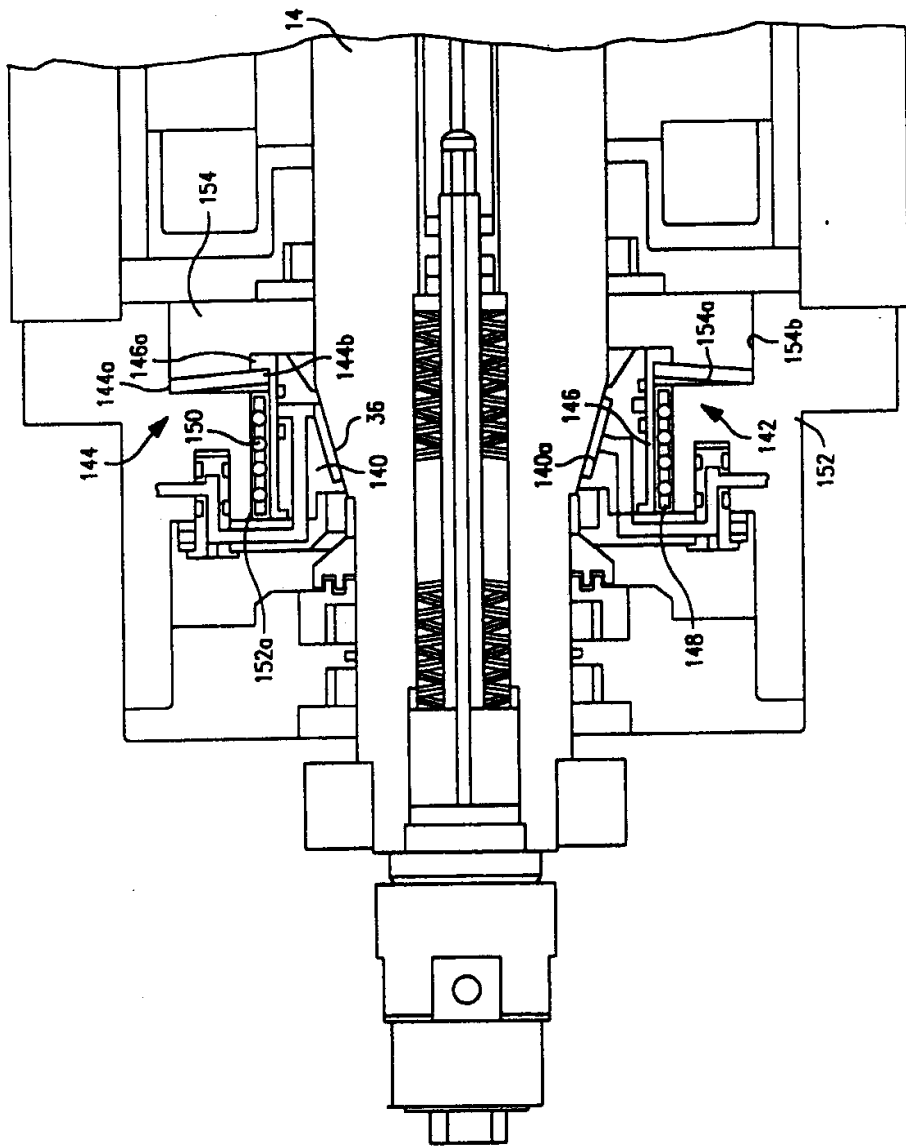


图 3

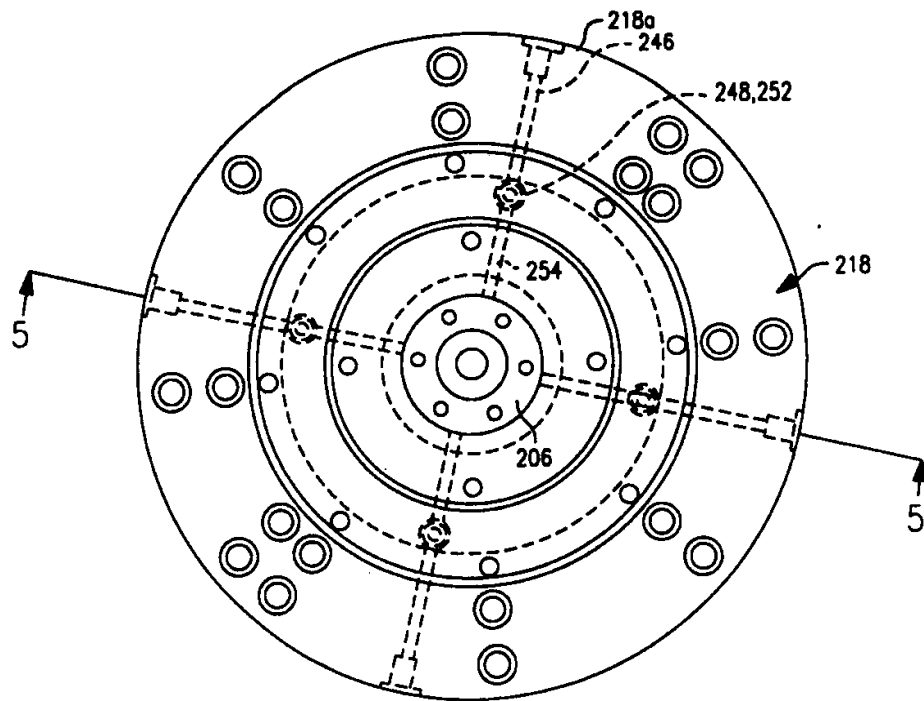


图 4

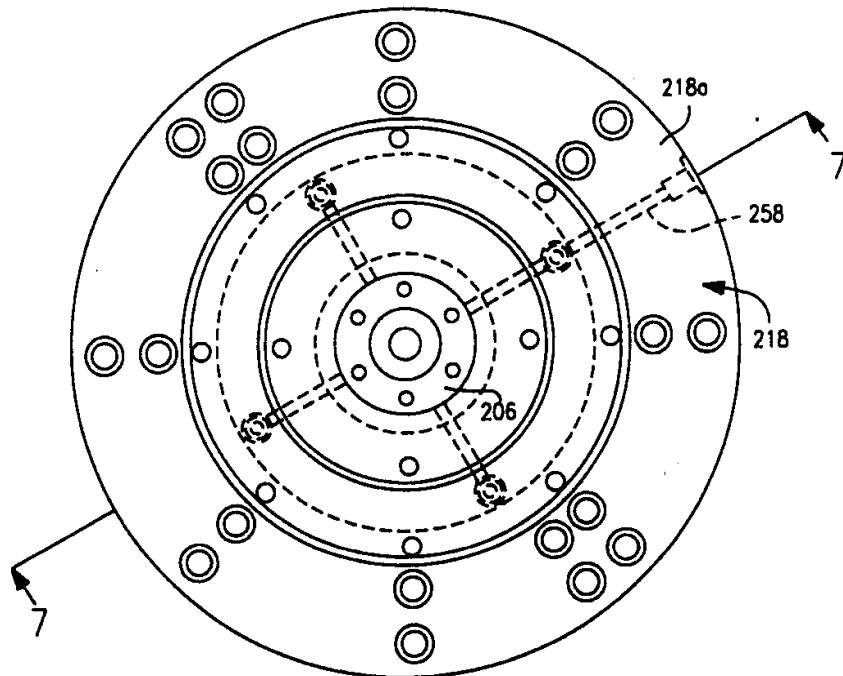


图 6

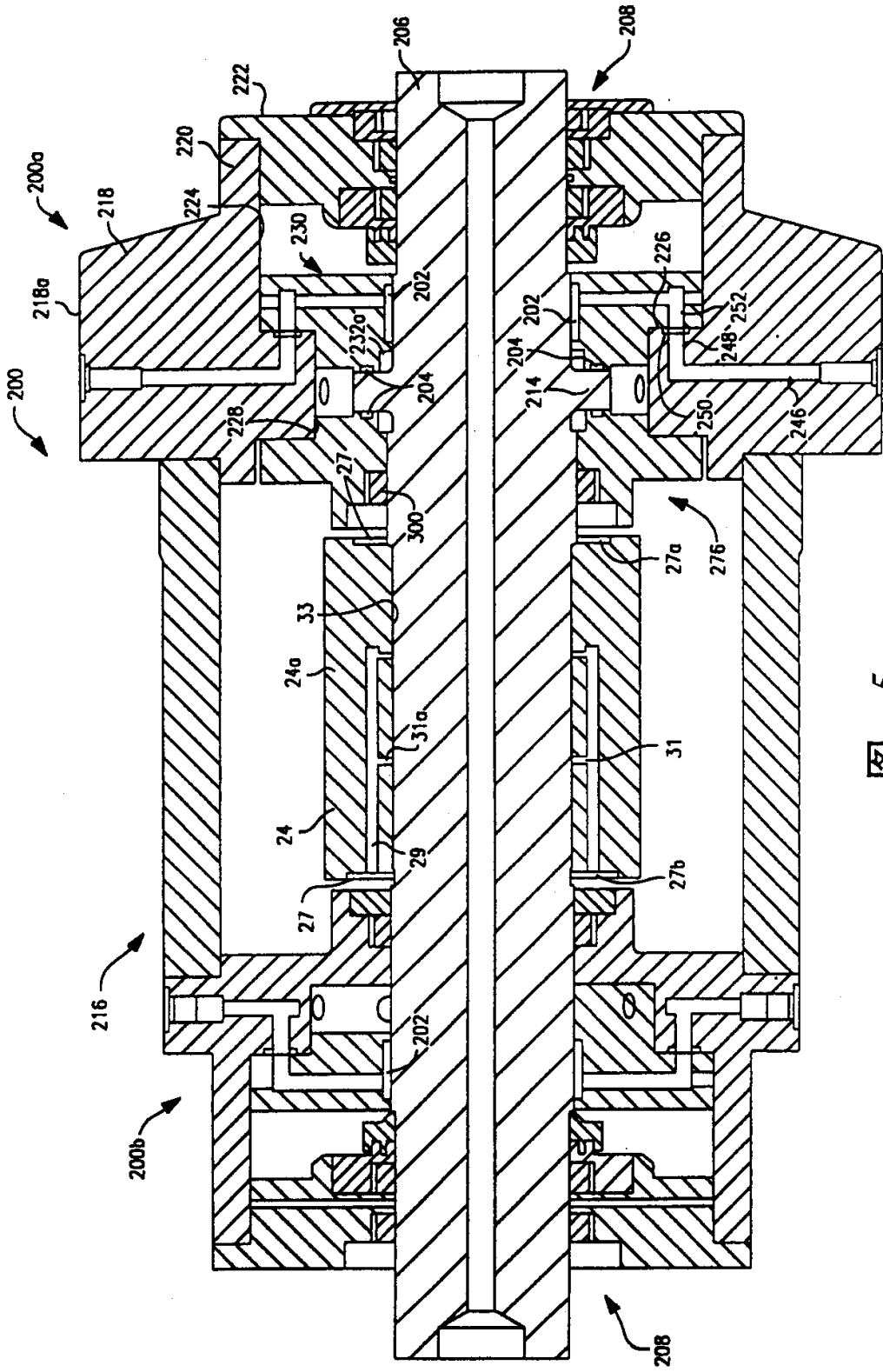


图 5

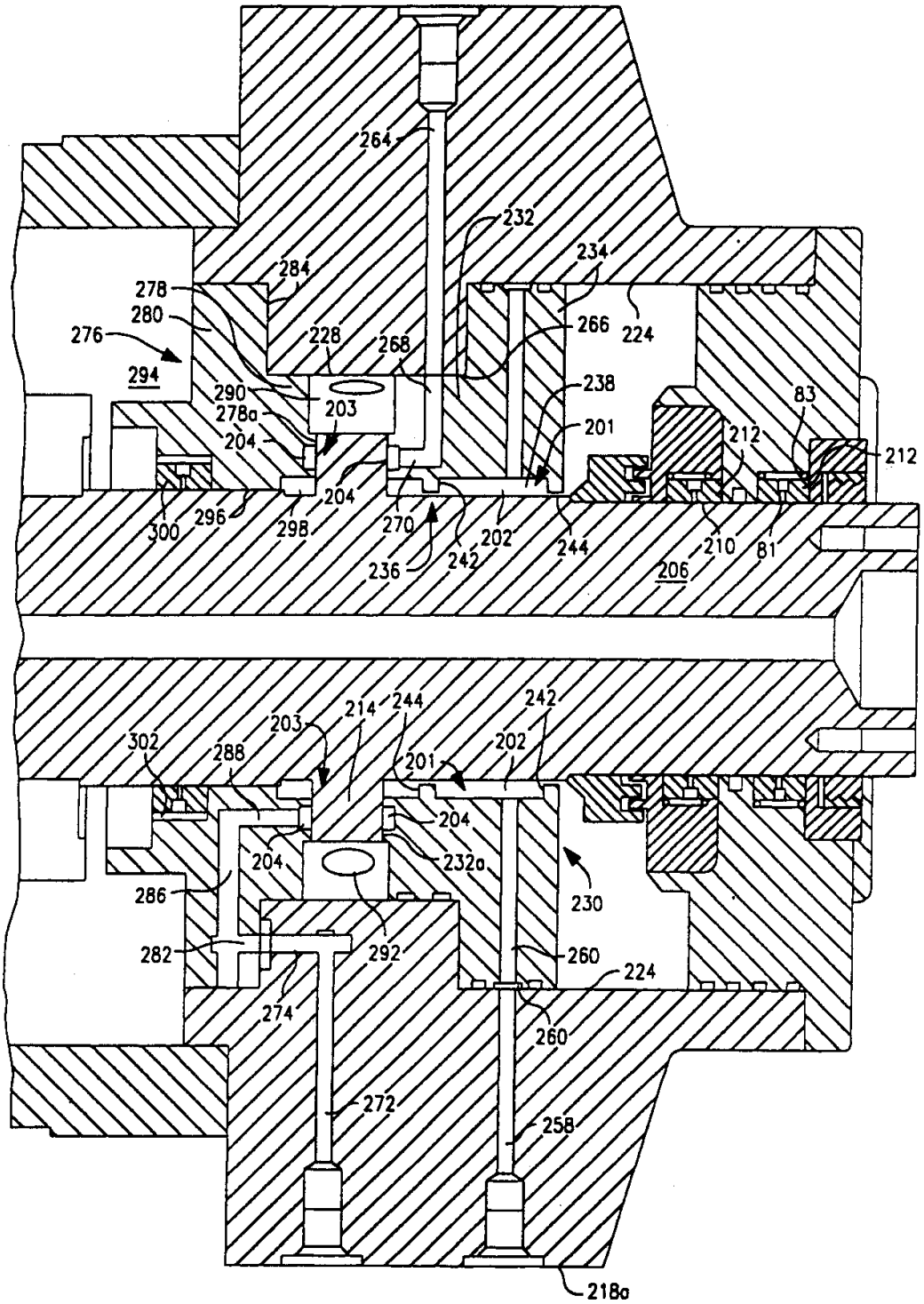


图 7

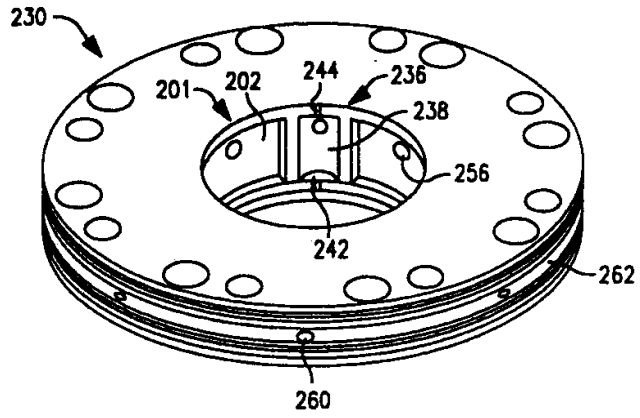


图 8

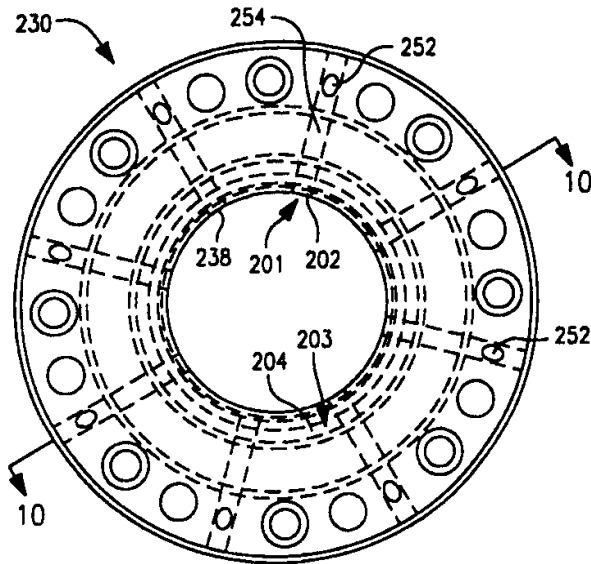


图 9

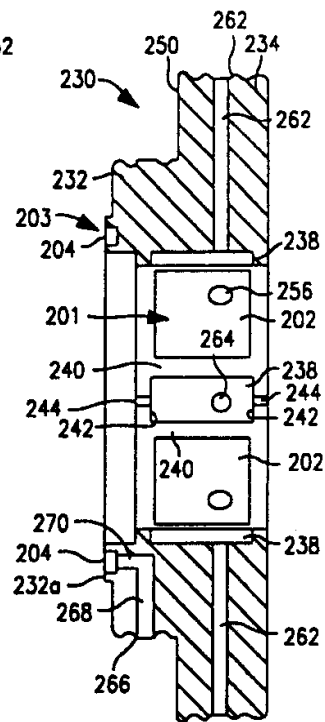


图 10