

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.  
A61M 1/10 (2006.01)



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200480034041.7

[43] 公开日 2006 年 12 月 27 日

[11] 公开号 CN 1886161A

[22] 申请日 2004.9.14

[74] 专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 苏娟

[21] 申请号 200480034041.7

[30] 优先权

[32] 2003.9.18 [33] US [31] 60/504,233

[86] 国际申请 PCT/US2004/029842 2004.9.14

[87] 国际公布 WO2005/028000 英 2005.3.31

[85] 进入国家阶段日期 2006.5.18

[71] 申请人 奥基斯医药公司

地址 美国加利福尼亚州

[72] 发明人 R·万普勒 D·兰西斯

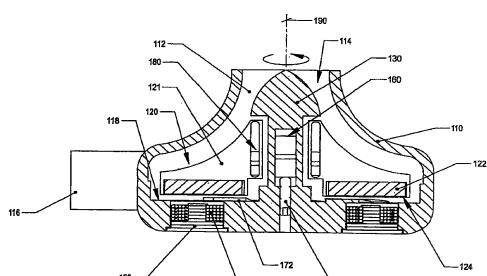
权利要求书 7 页 说明书 6 页 附图 5 页

[54] 发明名称

旋转式血泵

[57] 摘要

旋转式泵的可用来替代机械接触轴承的各种包括液力轴承和磁轴承的“非接触”轴承机构。在一实施例中，一泵装置包括一界定一泵室(112)的泵壳体(110)。该泵壳体有一伸入该泵室中的心轴。该心轴中有一包括第一和第二磁铁(262, 264)的心轴磁铁组件(160)。该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。由于不使用机械接触轴承，因此泵的使用寿命延长，对工作流体如血的破坏减小。



1、一种泵装置，包括：界定泵室（112）的泵壳体（110），该泵壳体有一伸入该泵室中的心轴（130）；在该心轴内设置的包括第一和第二磁铁（262，264）的心轴磁铁组件（160），其中，该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。

2、按权利要求1所述的泵装置，其特征在于，第一和第二心轴磁铁具有圆柱形或环形的形状系数。

3、按权利要求1所述的泵装置，其特征在于，该心轴磁铁组件进一步包括位于第一与第二磁铁之间的极片（266）。

4、按权利要求1所述的泵装置，其特征在于，心轴磁铁组件的纵向轴线（362）与心轴的纵向轴线（390）偏离。

5、按权利要求1所述的泵装置，其特征在于，壳体和心轴中的至少一个有可用来支撑至少一个液力轴承的表面几何形状。

6、按权利要求5所述的泵装置，其特征在于，心轴支撑心轴与转子的孔之间的径向液力轴承。

7、按权利要求5所述的泵装置，其特征在于，该至少一个液力轴承包括轴向液力轴承。

8、按权利要求1所述的泵装置，其特征在于，进一步包括：可围绕心轴转动的转子，该转子包括叶轮，该叶轮包括至少一个叶片（121）。

9、按权利要求8所述的泵装置，其特征在于，该转子进一步包括：在该转子的非叶片部内设置的包括第一和第二磁铁（282，284）的转子磁铁组件（180）；该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反；心轴和转子磁铁组件的相对方向选择成使得心轴和转子磁铁组件互相吸引。

10、按权利要求9所述的泵装置，其特征在于，该转子磁铁组件进一步包括位于第一与第二磁铁之间的极片（286）。

11、按权利要求9所述的泵装置，其特征在于，第一和第二转子磁铁中的至少一个具有环形形状系数。

12、按权利要求9所述的泵装置，其特征在于，第一和第二转子磁铁围绕转子的孔同心布置。

13、按权利要求8所述的泵装置，其特征在于，壳体、心轴和转

子中至少一个有一可用来支撑至少一个液力轴承的表面几何形状。

14、按权利要求 13 所述的泵装置，其特征在于，该至少一个液力轴承包括心轴与转子的孔之间的一径向液力轴承。

15、按权利要求 13 所述的泵装置，其特征在于，该至少一个液力轴承包括一轴向液力轴承。

16、按权利要求 8 所述的泵装置，其特征在于，转子的孔 (410) 上开槽 (450)。

17、按权利要求 8 所述的泵装置，其特征在于，进一步包括：转子非叶片部承载的多个驱动磁铁 (122)；以及泵壳体承载的驱动绕组 (140)，其中，驱动磁铁与驱动绕组配合而转动转子。

18、一种泵装置，包括：有一孔 (410) 的转子 (120)，该转子包括有至少一个叶片 (121) 的叶轮；以及该转子内设置的包括第一和第二磁铁 (282, 284) 的转子磁铁组件 (180)，其中，该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。

19、按权利要求 18 所述的泵装置，其特征在于，该转子磁铁组件进一步包括位于第一与第二磁铁之间的极片 (286)。

20、按权利要求 18 所述的泵装置，其特征在于，第一和第二转子磁铁中至少一个具有环形形状因数。

21、按权利要求 18 所述的泵装置，其特征在于，第一和第二转子磁铁围绕转子孔纵向轴线同心布置。

22、按权利要求 18 所述的泵装置，其特征在于，该转子有可用来支撑至少一个液力轴承的表面几何形状。

23、按权利要求 22 所述的泵装置，其特征在于，该转子孔提供径向液力轴承表面。

24、按权利要求 22 所述的泵装置，其特征在于，该至少一个液力轴承包括轴向液力轴承。

25、一种泵装置，包括：界定泵室 (112) 的泵壳体 (110)，该泵壳体有伸入该泵室中的心轴 (130)；可围绕该心轴 (130) 转动的转子 (120)，该转子包括有至少一个叶片 (121) 的叶轮；在该转子的非叶片部内设置的磁轴承的转子部 (180)；以及该心轴内的该磁轴承的心轴部 (160)，其中，该磁轴承的心轴部和转子部互相吸引；该磁轴承的转子部和心轴部中的至少一个包括第一和第二磁铁；该第一

和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。

26、按权利要求 25 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(262, 264)；该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(282, 284)。

27、按权利要求 25 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(262, 264)；该磁轴承的转子部包括铁磁材料。

28、按权利要求 27 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

29、按权利要求 25 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(182, 184)；该磁轴承的心轴部包括铁磁材料。

30、按权利要求 29 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

31、一种泵装置，包括：界定一泵室(112)的泵壳体(110)，该泵壳体有一伸入该泵室中的心轴(130)；有一开槽孔(410)的转子(120)，该转子可围绕该心轴转动，该转子包括有至少一个叶片(121)的叶轮；在该转子的非叶片部内设置的磁轴承的转子部(180)；以及在该心轴内设置的该磁轴承的心轴部(160)，其中，该磁轴承的心轴部和转子部互相吸引；该磁轴承的转子部和心轴部中的至少一个包括第一和第二磁铁；该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。

32、按权利要求 31 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(262, 264)；该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(282, 284)。

33、按权利要求 31 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(262, 264)；该磁轴承的转子部包括铁磁材料。

34、按权利要求 33 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

35、按权利要求 31 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的转子部(180)包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(282, 284)；该磁轴承的心轴部包括铁磁材。

36、按权利要求 35 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

37、按权利要求 31 所述的泵装置，其特征在于，该开槽孔(410)包括至少一个围绕该孔的螺旋形槽(450)。

38、按权利要求 31 所述的泵装置，其特征在于，该开槽孔包括多个槽。

39、按权利要求 38 所述的泵装置，其特征在于，这多个槽中的每一个槽呈围绕孔的螺旋形。

40、一种泵装置，包括：界定泵室(112)的泵壳体(110)，该泵壳体有伸入该泵室中的心轴(130)；可围绕该心轴(130)转动的转子(120)，该转子包括有至少一个叶片(121)的叶轮；在该转子的非叶片部内设置的磁轴承的转子部(180)；该心轴内设置的该磁轴承的心轴部(160)，其中，该磁轴承的心轴部和转子部互相吸引；该磁轴承的转子部和心轴部中的至少一个包括第一和第二磁铁；该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反；转子非叶片部承载的多个驱动磁铁(122)；以及泵壳体中的驱动绕组(140)，其中，驱动磁铁与驱动绕组配合而转动转子。

41、按权利要求 40 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(262, 264)；该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(282, 284)。

42、按权利要求 40 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(262, 264)；该磁轴承的转子部包括铁磁材料。

43、按权利要求 42 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

44、按权利要求 40 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁(282, 284)；该磁轴承的心轴部包括铁磁材料。

45、按权利要求 44 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

46、按权利要求 40 所述的泵装置，其特征在于，该转子有一开槽孔（410）。

47、按权利要求 46 所述的泵装置，其特征在于，该开槽孔包括至少一个围绕该孔的螺旋形槽（450）。

48、按权利要求 46 所述的泵装置，其特征在于，该开槽孔包括多个槽。

49、按权利要求 48 所述的泵装置，其特征在于，这多个槽的每一个槽呈围绕孔的螺旋形。

50、一种泵装置，包括：界定泵室（112）的泵壳体（110），该泵壳体有一伸入该泵室中的心轴（130）；可围绕该心轴（130）转动的转子（120），该转子包括有至少一个叶片（121）的叶轮；在该转子的非叶片部内设置的磁轴承的转子部（180）；该心轴内设置的该磁轴承的心轴部（160），其中，该磁轴承的心轴部和转子部互相吸引；该磁轴承的转子部和心轴部中的至少一个包括第一和第二磁铁；该第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反；泵壳体和转子中的至少一个有构造成在转子与泵壳体之间生成液力轴承的表面。

51、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁（262，264）；该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁（282，284）。

52、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的心轴部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁（262，264）；该磁轴承的转子部包括铁磁材料。

53、按权利要求 52 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

54、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该磁轴承的转子部包括位置互相紧临、磁向量互相相反的第一和第二磁铁（282，284）；该磁轴承的心轴部包括铁磁材。

55、按权利要求 54 所述的泵装置，其特征在于，该铁磁材料为软铁。

56、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该转子有一开槽孔（410）。

57、按权利要求 56 所述的泵装置，其特征在于，该开槽孔包括至少一个围绕该孔的螺旋形槽（450）。

58、按权利要求 56 所述的泵装置，其特征在于，该开槽孔包括多个槽。

59、按权利要求 58 所述的泵装置，其特征在于，这多个槽的每一个槽呈围绕孔的螺旋形。

60、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该转子包括生成该液力轴承的表面特征。

61、按权利要求 60 所述的泵装置，其特征在于，该表面特征由逐渐变细的表面限定。

62、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该泵壳体包括生成该液力轴承的表面特征。

63、按权利要求 62 所述的泵装置，其特征在于，该表面特征由逐渐变细的表面形成。

64、按权利要求 50 所述的泵装置，其特征在于，该泵壳体和该转子各包括生成该液力轴承的表面特征。

65、按权利要求 65 所述的泵装置，其特征在于，该表面特征由逐渐变细的表面形成。

66、一种泵装置，包括：界定泵室（112）的泵壳体（110），该泵壳体有伸入该泵室中的心轴（130）；在该心轴内设置的包括第一和第二磁铁（262，264）的心轴磁铁组件（160），其中，第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量互相相反；该心轴磁铁组件的纵向轴线（362）与心轴的纵向轴线（390）偏离；以及一可围绕该心轴（130）转动的转子（120），该转子包括有至少一个叶片（121）的叶轮，其中，该转子的一孔（410）上开槽。

67、一种泵装置，包括：界定泵室（112）的泵壳体（110），该泵壳体有伸入该泵室中的心轴（130）；在该心轴内设置的包括第一和第二磁铁（262，264）的心轴磁铁组件（160），其中，第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量互相相反；一可围绕该心轴转动的转子（120），其中，该泵壳体有构造成在转动时至少局部支撑该转子的液

---

力轴承的表面，该转子包括有至少一个叶片（121）的叶轮；以及在转子的非叶片部中设置的多个驱动磁铁（122）。

68、按权利要求 67 所述的泵装置，其特征在于，进一步包括：泵壳体承载的驱动绕组（140），其中，该驱动磁铁与该驱动绕组配合而转动该转子。

## 旋转式血泵

### 发明领域

本发明涉及旋转式泵。特别涉及用于各种转子和叶轮结构的轴承。

### 发明背景

一般旋转式泵使用一叶轮，其中，该叶轮的运动用机械接触轴承在 5 个自由度（两个角自由度，三个平动自由度）上受到限制。某些工作流体会受到机械接触轴承的破坏。用具有接触轴承的泵抽运的血会发生血细胞溶解，即破坏血细胞。一般来说，某些场合需要使用能抽运需要小心处理的工作流体如血的高效液压且高功率的泵。

Wampler 等人的美国专利 No. 6, 234, 772B1 (“Wampler”) 说明了一种有径向磁斥力轴承和轴向流体动力轴承的离心血泵。Woodard 等人的美国专利 No. 6, 250, 880B1 (“Woodard”) 说明了一种其叶轮只受液体动力支撑的离心血泵。

两血泵都是基于轴向磁通间隙电动机的设计。叶轮中携带电动机的驱动磁铁，从而用作电动机转子。在此两种情况中，驱动磁铁都位于叶轮的叶片中。驱动绕组的位置在泵室外但在用作电动机定子的泵壳体内。由于电动机与泵一体化，因此省略了驱动轴和泵的密封。该泵/电动机包括增强用于驱动叶轮的磁通的背铁。

两血泵的问题都是液力不足，其至少一部分的原因是将磁铁设置在叶轮叶片中要求大且非常规的叶片几何形状。

该泵要有效工作必须克服叶片携带的磁铁与背铁之间很大的自然轴向吸力。尽管叶片与泵壳体之间不发生接触，但液力轴承会由于与液力轴承承载的负载有关的剪切力造成血细胞的破坏。因此只使用液力轴承可能对血有害。

### 本发明概述

鉴于公知血泵和方法的不足，旋转式泵用各种“非接触”轴承机构取代机械接触轴承。用各种转子和壳体设计特征实现磁轴承和液力

轴承。这些设计特征可组合在一起。由于不使用机械接触轴承，因此泵的使用寿命延长，对工作流体如血的破坏减小。

在一实施例中，该泵包括一磁推力轴承。该泵包括界定泵室的泵壳体。该泵壳体有伸入该泵室中的心轴。该心轴设有包括第一和第二磁铁的心轴磁铁组件。该心轴磁铁组件的第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。该泵包括有可围绕该心轴转动的叶轮的转子。该转子的非叶片部中设有包括第一和第二磁铁的转子磁铁组件。该转子磁铁组件的第一和第二磁铁的位置互相紧临，其磁向量相反。心轴和转子磁铁组件的相对方向选择成使得心轴和转子磁铁组件互相吸引。该转子可包括开槽孔。在各实施例中，含有的液力轴承用于径向支撑或轴向支撑或径向和轴向支撑。

### 附图简要说明

下面结合例示性附图举例说明本发明，在各附图中相同部件用同一标号表示，附图中：

图 1 为一有一被动轴向磁轴承的泵的剖面图；

图 2 示出该被动轴向磁轴承一实施例；

图 3 示出该被动轴向磁轴承的中央和偏心设置；

图 4 示出一叶轮实施例；以及

图 5 示出该泵的一实施例用于医学中。

### 详细说明

图 1 示出一离心血泵的一个实施例。该泵包括界定在进口 114 和出口 116 之间的泵室 112 的壳体 110。在该泵室中，转子 120 围绕从该泵壳体底部伸出的心轴 130 转动。该转子还包括界定提供流体流动面的叶轮的叶片部。该叶轮包括一个或多个在叶轮转动时推动流体的叶片 121。

“转子”和“叶轮”在某些上下文中的意思相同。例如，转子转动时，转子的叶片部也转动，因此可以说转子转动，也可说叶轮转动。但需要时可用“转子的非叶片部”或“叶轮之外的转子”专指转子的在叶片之外的部分。转子的每一叶片都可称为叶轮，但叶轮一般指一个或多个叶片的集合。

该泵建立在活动磁铁轴向磁通间隙电动机结构。在一实施例中，该电动机为一无刷 DC 电动机。转子中的磁铁 122 的磁向量与转子转动轴线 190 平行。在所示实施例中，驱动磁铁位于转子的非叶片部内。

驱动绕组 140 位于泵壳体内。电力加到驱动绕组生成与驱动磁铁互相作用的随时间而变的电流，使得叶轮转动。一背铁 150 增强电动机转子磁铁产生的磁通。在一实施例中，转子底面 124 或下泵壳体的相对表面 118 具有这样的表面（如 172）：在转子与壳体之间间隙小于一预定阈值时能形成液力轴承。在一实施例中，该预定阈值为 0.0002-0.003 英寸。

背铁 150 与转子承载的驱动磁铁 122 之间的自然吸引会在转子上生成很大的轴向载荷。该轴向载荷存在于诸如 Wampler 或 Woodard 的轴向磁通间隙电动机结构的离心泵中。Wampler 和 Woodard 都靠液力推力轴承克服该轴向载荷力。尽管叶片与泵壳体之间不发生接触，但液力轴承会由于与该液力轴承承载的负载有关的剪切力造成血细胞的破坏。

Wampler 的径向斥力磁轴承加重了驱动磁铁与背铁之间磁吸引生成的轴向力。尽管径向斥力磁轴承生成径向稳定性，但造成很大轴向不稳定性。该轴向不稳定性可进一步提高轴向载荷。不管使用什么样的轴向液力轴承，该额外的轴向力造成更大的剪切力，从而造成血细胞溶解。此外，维持液力轴承所需功率随着该载荷的增加而增加。因此高负载的液力轴承的功耗大。

图 1 血泵包括用来减小或抵消由驱动磁铁与背铁之间的相互作用作用而施加在转子上的轴向载荷的轴向磁轴承。该轴向磁轴承由位于心轴内心轴磁铁组件 160 与由转子携带的转子磁铁组件 180 之间的相互作用形成。在所示实施例中，转子磁铁组件 180 靠近叶轮，但转子磁铁组件的磁铁不位于叶片中。调节螺丝 134 通过在心轴的纵向轴线上移动心轴磁铁组件来纵向调节该轴向磁轴承的轴向位置。

图 2 示出轴向磁轴承实施例。转子磁铁组件包括互相紧临的第一转子轴承磁铁 282 和第二转子轴承磁铁 284。第一和第二转子轴承磁铁为永久磁铁。在一实施例中，它们之间有一极片 286。极片或磁通集中件用来集中转子轴承磁铁 282 和 284 生成的磁通。在另一实施例中，部件 286 只是帮助第一和第二轴承磁铁 282、284 定位的间隔件而不用

来集中磁通。在其他实施例中，部件 286 省略，因此转子磁铁组件不包括间隔件或极片部件。

在一实施例中，部件 282 和 284 为单块环形永久磁铁。轴承磁铁也可呈非单块组合物。例如，轴承磁铁也可呈由多个饼形、弧段形或其它形状的永久磁铁组成的环形永久磁铁结构。

转子轴向轴承磁铁组件与转子的非叶片 221 部中的驱动磁铁 222 不同。在所示实施例中，驱动磁铁位于转子的非叶片部 228 中。

心轴磁铁组件包括第一心轴轴承磁铁 262 和第二心轴轴承磁铁 264。第一和第二转子轴承磁铁为永久磁铁。在一实施例中，它们之间有一极片 266。极片 266 集中心轴轴承磁铁 262 和 264 生成的磁通。在另一实施例中，部件 266 只是用作第一和第二心轴轴承磁铁定位的间隔件而不用来集中磁通。在其他实施例中，部件 266 省略，因此心轴磁铁组件不包括间隔件或极片部件。

在所示实施例中，永久磁铁 262 和 264 呈圆柱形。在其它实施例中也可使用其它形状。环形转子磁铁与叶轮一起围绕由心轴轴承磁铁组件使用的心轴纵向轴线转动。

心轴和转子轴承组件的永久磁铁布置成使得中间极片两边上的磁铁的磁向量互相相反。

一给定极片的两边与不同磁铁的相同极邻接。

因此，磁铁 262 和 264 的磁向量互相相反（例如 N 对 N 或 S 对 S）。同样，磁铁 282 和 284 的磁向量互相相反。

各磁铁的方向选择成每当轴承在轴向上错位时建立轴向吸引。注意到，心轴和转子磁铁组件的相对方向选择成使得心轴和转子磁铁组件互相吸引（例如 S 对 N，N 对 S）。为一组件的磁铁选定的磁向量方向决定着用于另一组件的磁铁的磁向量方向。表 292 示出第一和第二转子轴承磁铁 (MR1, MR2) 和第一和第二心轴轴承磁铁 (MS1, MS2) 的可接受的磁向量组合。使磁轴承组件发生轴向位移的背铁与驱动磁铁之间的磁吸引力至少部分地被轴向轴承之间恢复转子轴向位置的轴向磁吸引力抵消。

图 2 还示出在转子的非叶片部的一面（例如见图 1 底面 124）与泵壳体背部之间的间隙小于一预定阈值时形成一液力轴承一部分的楔形面或斜面 272。在各实施例中，该预定阈值为 0.0002-0.003 英寸。因

此，在一实施例中，该泵包括一轴向液力轴承。提供该轴向液力轴承的表面几何形状可位于转子或壳体上。

尽管心轴磁铁组件用作轴向磁轴承，但心轴和转子磁铁组件之间的吸引力还有一径向分量。该径向分量可用来抵消由叶轮上的压力梯度对叶轮造成的径向负载。该径向分量还在开始转动时用作预加载载和在正常转动时用作偏置力防止转子围绕心轴偏心转动。偏心转动会造成不利于泵送作用的流体涡流或打旋。该偏置径向分量比方说在泵受到由移动或冲击造成的外力时有助于保持或恢复转子的径向位置和抽运作用。

在其他实施例中也可不用与转子轴承磁铁组件互相作用的心轴磁铁组件形成该磁轴承而用铁磁材料取代 a) 心轴磁铁组件或 b) 转子轴承磁铁组件之一（但不同时取代心轴磁铁组件和转子轴承磁铁组件）。

该磁轴承仍由一心轴部和一转子部组成，但心轴部和转子部之一使用铁磁材料，而另一部分使用永久磁铁。

铁磁材料与磁铁相互作用在转子与心轴之间形成磁吸引。铁磁材料的例子包括铁、镍和钴。

在一实施例中，铁磁材料为“软铁”。软铁的部分特征为矫顽磁性极低。因此不管其剩磁如何，软铁在外部磁场如该磁轴承系统的永久磁铁的磁场的作用下容易磁化（或再磁化）。

图 3 示出该磁轴承心轴部的各种设置位置。在一实施例中，心轴磁铁组件 360 的轴向与心轴的纵向轴线 390 重合，因此心轴和心轴磁铁组件的纵向中心轴线相同。在另一实施例中，心轴磁铁组件在径向上偏移，从而心轴和心轴磁铁组件的中心轴线不同。特别是，心轴磁铁组件 360 的纵向轴线 362 与心轴的纵向轴线 390 偏移。需要时可用这后一种位置设置来形成某种径向偏置力。叶轮上的压力差会在径向上把叶轮推向泵壳体的一边。这一径向力至少可部分地由偏移该心轴磁铁组件加以抵消。

尽管所示心轴和转子磁铁组件各包括 2 个磁元件，但磁铁组件也可各包括单块磁铁。每组件使用多个磁元件而不使用单块磁铁可提高弹簧比率。每组件使用两磁元件所生成的轴承比每组件使用单个磁元件可以更大弹簧比率矫正在轴向正反两个方向上离开稳定位置的位移（即稳定点之上和之下的位移）。

轴向磁轴承生成的磁力除了轴向分量还有径向分量。该径向分量会造成叶轮的不稳定。特别是，该径向分量会造成图 1 或 2 磁轴承径向位置不稳定。

可使用径向液力轴承克服该径向不稳定。参见图 1，该泵可设计成沿转子的孔在心轴 130 与转子之间有一径向液力轴承（即液力滑动轴承）。图 1 所示间隙夸大。液力滑动轴承需要间隙很小才能工作。在各实施例中，该液力滑动轴承间隙为 0.0005-0.020 英寸。

可用作轴向（推力）或径向（滑动）液力轴承的表面几何形状可位于转子上，也可位于壳体（或心轴）的有关部位上。在一实施例中，该表面几何形状包括特征如一个或多个垫（即一生成间隙突变的特征如一高度均匀的台阶）。在另一实施例中，该表面几何形状包括特征如一个或多个斜面。

图 4 示出包括一叶轮的转子的一实施例。该叶轮包括多个用来抽运工作流体如血的叶片 420。转子包括一孔 410。转子孔与泵壳体中的心轴同纵向轴线。驱动磁铁（未示出）位于转子的非叶片部 430 内（即位于转子内但不在转子叶轮部的任何叶片内）。因此电动机转子和叶轮一体化，从而无需驱动轴。没有驱动轴就不需要轴密封。

在一实施例中，转子孔上开槽。特别是，该孔有一个或多个螺旋形槽。这些槽的轴向节距不为零。该槽在泵运转时与泵的工作流体连通。

图 5 示出泵 510 运转时把工作流体 540 从一工作流体源 520 传递到一工作流体目的地 530。第一工作流体导管 522 连接该源与泵进口 514。第二工作流体导管 532 连接泵出口 516 与该目的地。泵把工作流体从该源传递到该目的地。在医疗中，该工作流体例如为血。在一实施例中，该源和该目的地为动脉，因此该泵把血从一动脉传递到另一动脉。

以上说明了可替代旋转式泵的机械接触轴承的各种“非接触”轴承。特别用各种设计的转子、叶轮和壳体实现液力轴承或磁轴承。这种种设计需要时可组合使用。

以上结合具体例示性实施例详细说明了本发明。但可在由权利要求限定的本发明精神和范围内对之作出种种修正和改动。因此本说明书和附图应看出是例示性的而非限制性的。

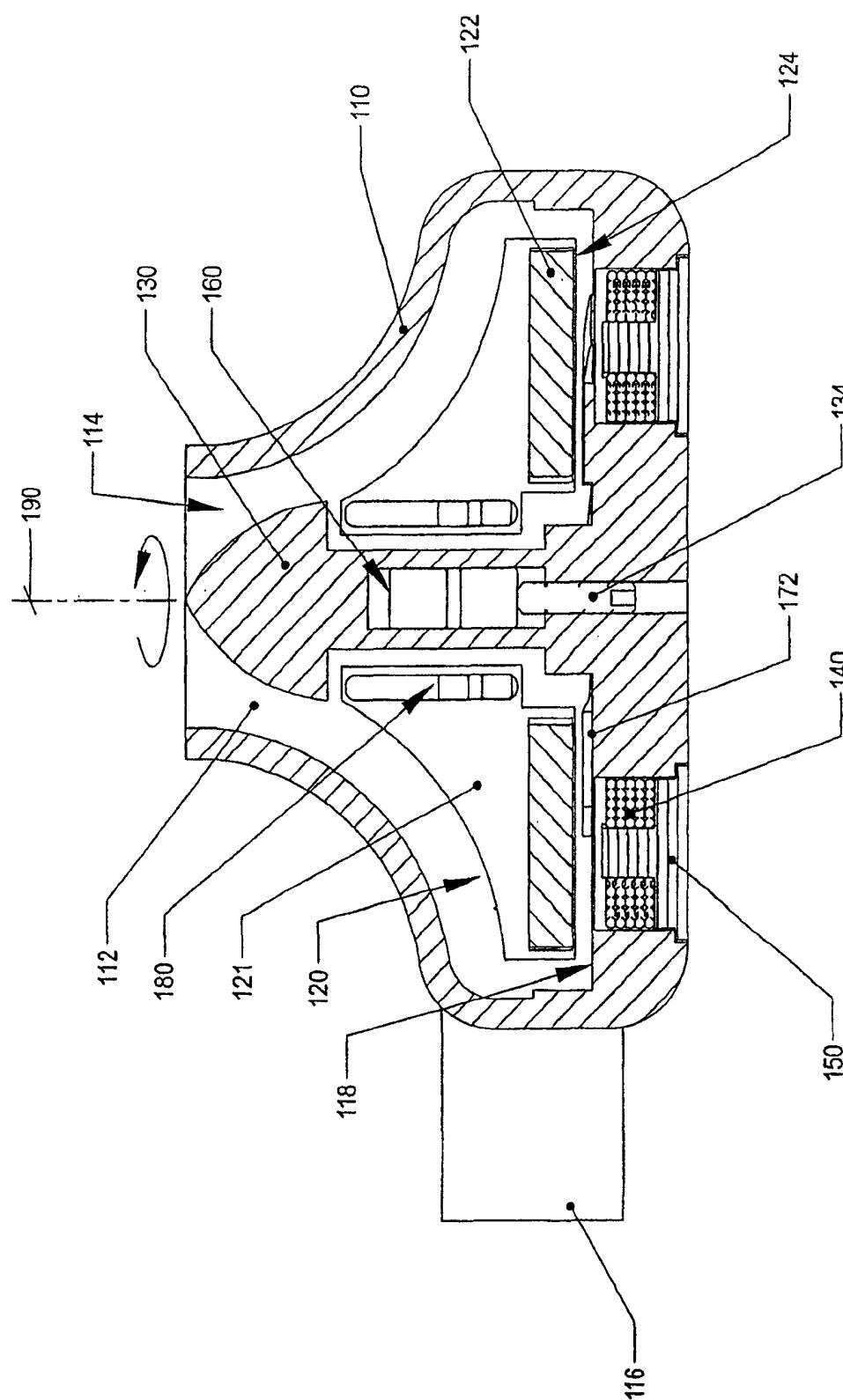
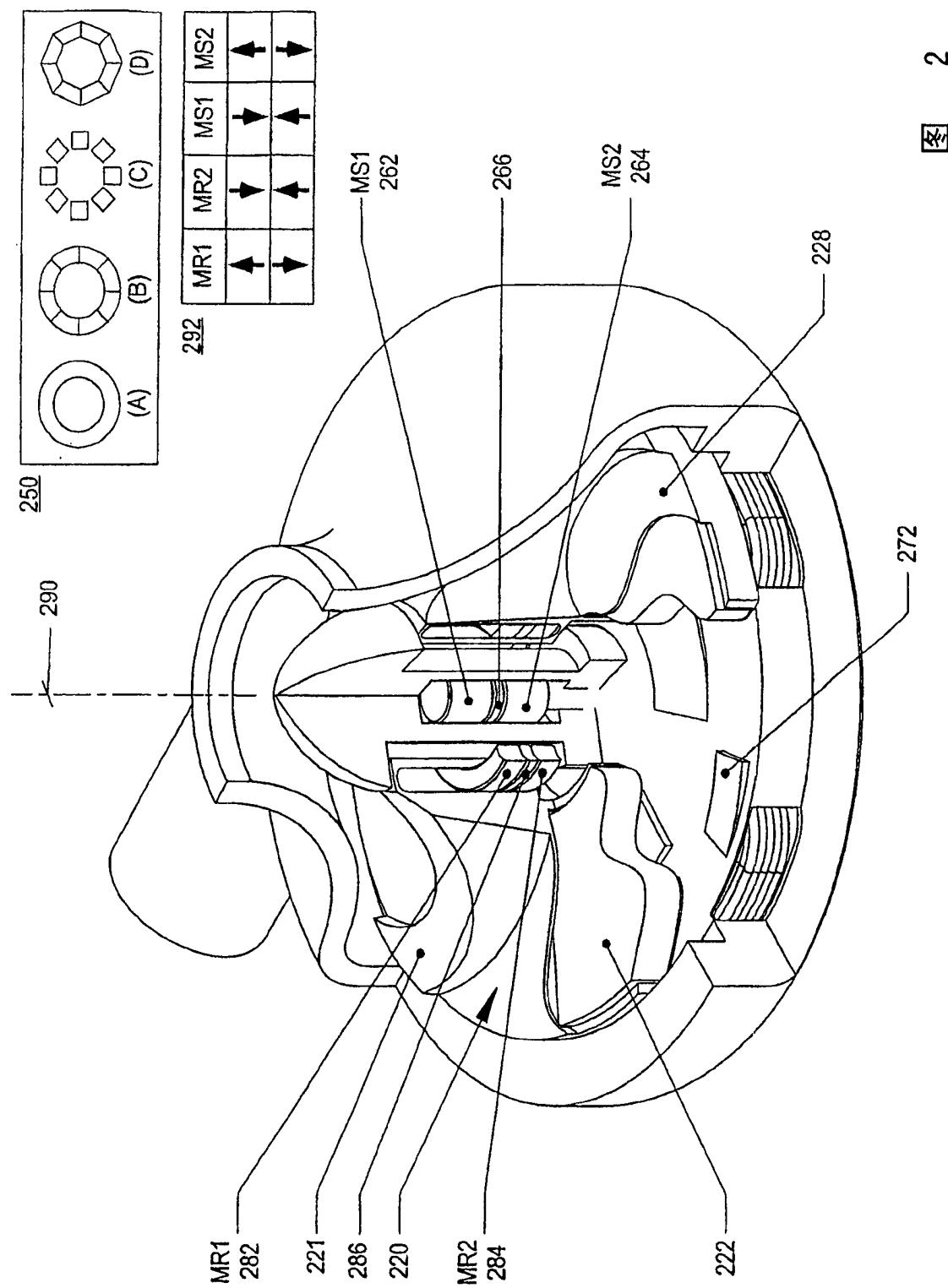


图 1



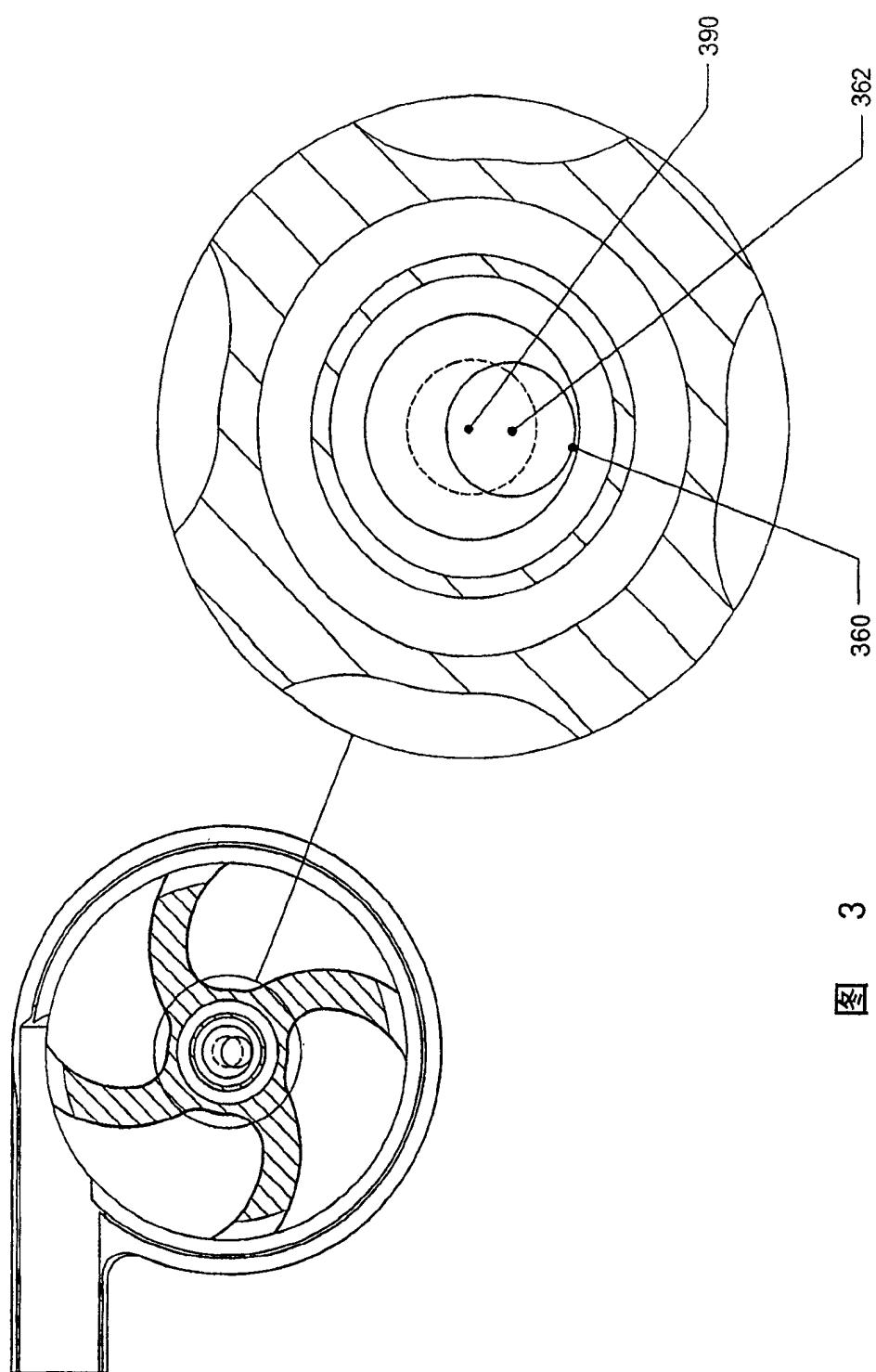


图 3

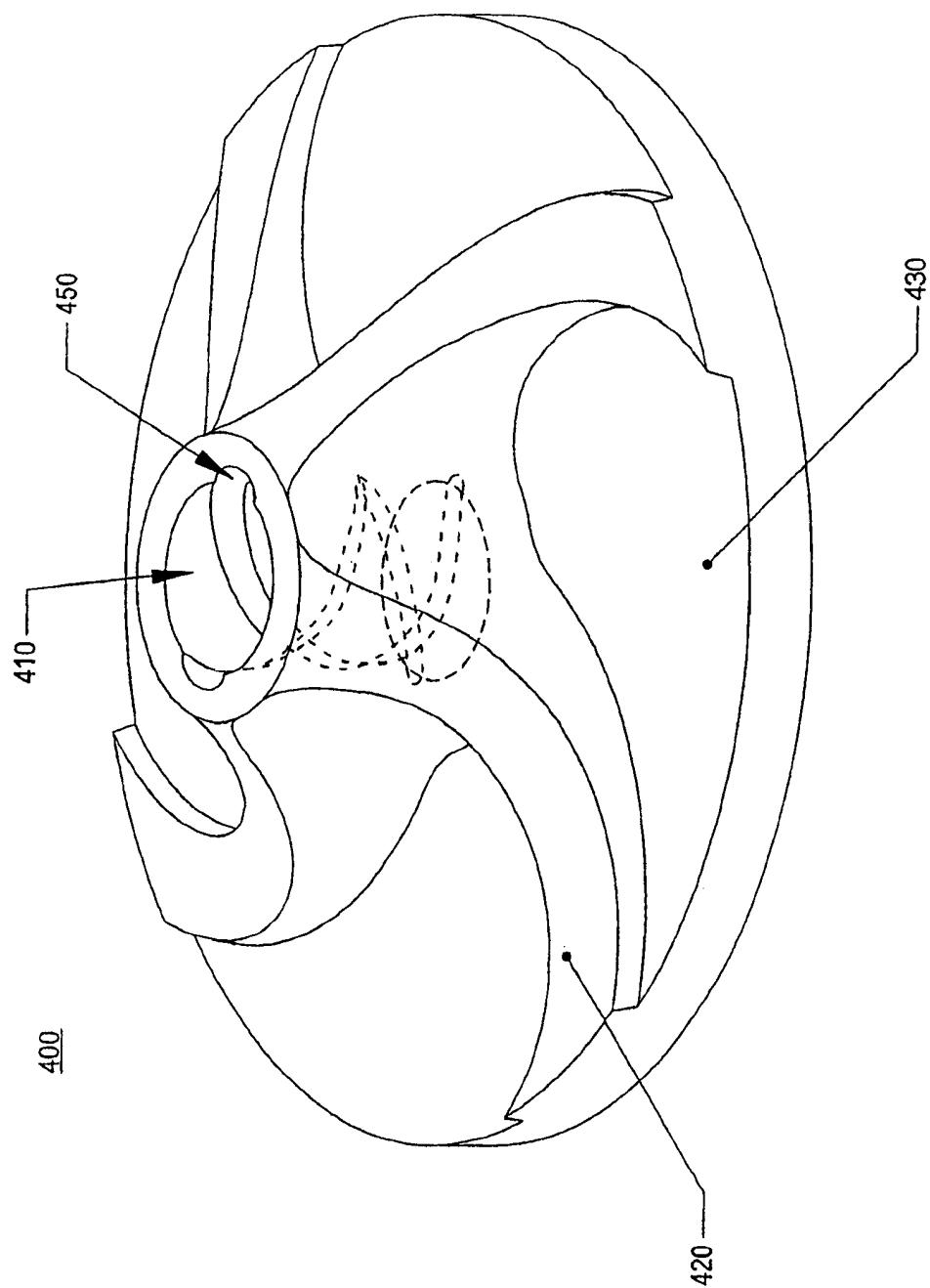


图 4

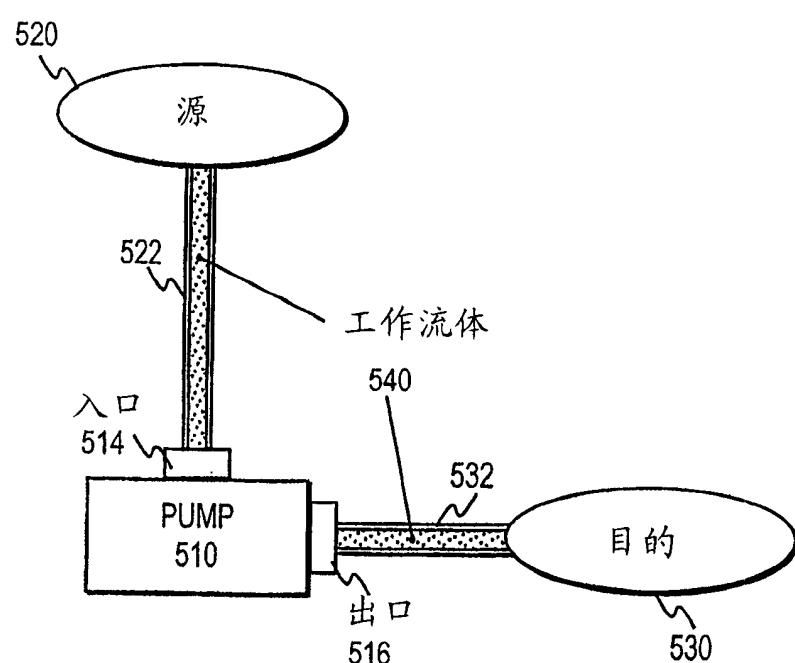


图 5