

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl<sup>7</sup>

F16C 32/06

F16C 33/10



# [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200410004214.2

[43] 公开日 2004年8月18日

[11] 公开号 CN 1521416A

[22] 申请日 2004.2.10

[21] 申请号 200410004214.2

[30] 优先权

[32] 2003.2.10 [33] JP [31] 032914/2003

[32] 2004.2.6 [33] JP [31] 030009/2004

[71] 申请人 株式会社三协精机制作所

地址 日本长野县

共同申请人 东洋涂赖润滑株式会社

[72] 发明人 五明正人 芦部升 斋地正义

杉信进悟 水上顺也 长尾宣孝

正田浩一 小林昭仁

[74] 专利代理机构 北京三友知识产权代理有限公司

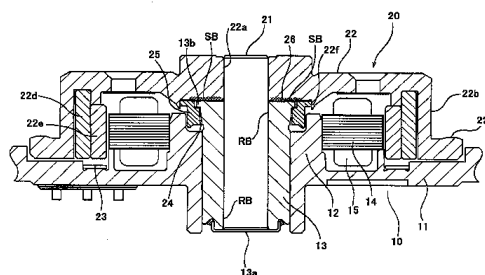
代理人 陈 坚

权利要求书1页 说明书9页 附图8页

[54] 发明名称 动压轴承装置

[57] 摘要

一种动压轴承装置，其包括：轴元件的动压面，轴承元件的动压面，充满在动压轴承部分的轴承空间中的润滑流体，该轴承空间包括所述动压面之间的间隙；动压产生装置，其用于施压从而润滑流体产生动压，该动压以相对于轴承元件可旋转的方式和与轴承元件非接触的方式支撑所述轴元件；以及具有耐磨性的滑动表面层，其设置在所述轴元件的动压面和所述轴承元件的动压面中的至少一个上。所述滑动表面层由树脂润滑膜构成，该树脂润滑膜中分散有许多固体润滑材料颗粒，并且构成包括在所述滑动表面层中的所述固体润滑材料的颗粒的最大直径小于所述动压轴承部分的轴承空间的最小间隙尺寸。



ISSN 1008-4274

- 1、一种动压轴承装置，其包括：  
轴元件的动压面；  
5 轴承元件的动压面；  
充满在动压轴承部分的轴承空间中的润滑流体，该轴承空间包括所述动压面之间的间隙；  
动压产生装置，其用于施压从而润滑流体产生动压，该动压以相对于轴承元件可旋转的方式和与轴承元件非接触的方式支撑所述轴元件；  
10 以及  
具有耐磨性的滑动表面层，其设置在所述轴元件的动压面和所述轴承元件的动压面中的至少一个上；其中，  
所述滑动表面层由树脂润滑膜构成，该树脂润滑膜中分散有许多固体润滑材料颗粒，并且  
15 构成包括在所述滑动表面层中的所述固体润滑材料的颗粒的最大直径小于所述动压轴承部分的轴承空间的最小间隙尺寸。
- 2、根据权利要求1所述的动压轴承装置，其特征在于，所述固体润滑材料具有分裂的特性。
- 3、根据权利要求1所述的动压轴承装置，其特征在于，所述动压轴承部分由径向动压轴承部分和推力动压轴承部分中的至少一个构成。  
20
- 4、根据权利要求3所述的动压轴承装置，其特征在于，所述径向动压轴承部分和推力动压轴承部分形成为具有彼此连续的轴承空间。

## 动压轴承装置

### 5 技术领域

本发明涉及一种动压轴承装置，该动压轴承装置通过轴承元件利用润滑流体的动压来支撑轴元件。

### 背景技术

10 近年来，动压轴承装置一直在发展，动压轴承装置是这样一种类型的轴承，其在各种旋转驱动装置中使得旋转元件能以高精度且高速地旋转。动压轴承使用润滑流体的动压来支撑旋转轴。动压轴承装置包括轴元件的动压面和轴承元件的动压面，它们布置成彼此相对并且在径向或者轴向上接近。在这两个相对的动压面之间，形成有径向动压轴承部分  
15 或推力动压轴承部分的轴承空间。适合的润滑流体充满在该轴承空间中，以及适合的包括人字形槽的动压产生装置在润滑流体中产生动压。产生的动压用于通过轴承元件以相关的旋转方式非接触地支撑轴元件。

在这种动压轴承装置中，轴元件在开始或停止旋转时暂时地与轴承元件接触。因此，为每个元件的动压面提供了用于提高耐磨性的方法。  
20 例如，在日本未审专利公报 No. 2001-289243 中，轴元件和轴承元件二者之中的一个或两个动压面设置了具有耐磨性的滑动表面层。这样的滑动表面层由包括薄金属板的复合材料制成，该薄金属板作为其上覆盖有包含锌或锡的基板，复合材料覆盖有固体润滑材料，该固体润滑材料包含碳氟树脂、石墨或二硫化钼、如氧化铝的陶瓷、或如铝青铜合金或锰青  
25 铜的铜类材料。而且，上述提到的薄金属板由铜或铜类材料制成。

然而，在包括滑动表面层的动压轴承装置的该结构中（该滑动表面层具有对轴元件或轴承元件动压面的耐磨性）会存在这样的情况，即，经过长时间的使用滑动表面层会逐渐地从表面上脱落。在这种情况下，来自滑动表面层的颗粒将悬浮在动压轴承部分的轴承空间中。如果悬浮

的颗粒在轴元件和轴承元件之间被捕获，则动压面可能被损坏，这样动压将降低并且可能发生旋转锁定状态。

### 发明内容

5 本发明的目的是提供这样一种动压轴承装置，即使在滑动表面层有一些脱落的情况下，其也能通过轴承元件长时间地支撑轴元件。

根据本发明的一个方面，提供了这样一种动压轴承装置，其包括：轴元件的动压面，轴承元件的动压面，充满在动压轴承部分的轴承空间中的润滑流体，该轴承空间包括所述动压面之间的间隙；动压产生装置，  
10 其用于施压从而润滑流体产生动压，该动压以相对于轴承元件可旋转的方式和与轴承元件非接触的方式支撑所述轴元件；以及具有耐磨性的滑动表面层，其设置在所述轴元件的动压面和所述轴承元件的动压面中的至少一个上。所述滑动表面层由树脂润滑膜构成，该树脂润滑膜中分散有许多固体润滑材料颗粒，并且构成包括在所述滑动表面层中的所述固  
15 体润滑材料的颗粒的最大直径小于所述动压轴承部分的轴承空间的最小间隙尺寸。

根据这种结构，即使部分滑动表面层在动压轴承空间中剥落，剥落的滑动表面层颗粒也不会再在轴承空间的间隙中被捕获，这是因为颗粒的直径比轴承空间的最小间隙尺寸小。这里，“轴承空间的最小间隙尺寸”  
20 是指旋转时轴元件和轴承元件之间的最小间隙尺寸。更具体地，它被定义成这样，即，当轴元件的轴向中心与轴承元件的轴向中心重合时，在轴元件和轴承元件两者之间的沿径向的最小间隙尺寸。

在本发明的第二方面的优先实施例中，固体润滑材料具有分裂的特性。

25 根据这种结构，从滑动表面层剥落的固体润滑材料的颗粒呈薄鳞状悬浮在润滑流体中。当压力施加到润滑流体上时，滑动表面层颗粒的薄鳞布置成这样，即，薄鳞的厚度方向与径向对应。结果，滑动表面层的颗粒确定地不会在轴元件和轴承元件之间被捕获。因此，颗粒的平稳悬浮状态能被保持，这样提高了该装置的安全性。

在本发明的第三方面的优选实施例中，动压轴承部分由径向动压轴承部分和推力动压轴承部分中的至少一个构成。因此，本发明能以同样的方式应用于径向和推力动压轴承部分。

在本发明的第四方面的优选实施例中，径向动压轴承部分和推力动压轴承部分形成为具有相互连续的轴承空间。

根据这种结构，润滑流体能被同时喷射入径向动压轴承部分和推力动压轴承部分，从而简化安装工序。另一方面，推力动压轴承部分旋转时具有相对较大的轴承空间的间隙尺寸，从推力动压轴承部分的滑动表面层剥落的颗粒能进入具有较小间隙尺寸的径向动压轴承部分的轴承空间中。但是，由于滑动表面层的颗粒具有小于轴承空间的间隙尺寸的直径，所以滑动表面层的颗粒不会在间隙中被捕获。

#### 附图说明

图 1 是根据本发明的一实施例的、用于具有动压轴承装置的硬盘驱动装置的轴旋转类型的主轴电机的剖面图。

图 2 是表示固体润滑材料的颗粒直径分布的曲线图，该固体润滑材料构成了在图 1 硬盘驱动装置主轴电机中使用的动压轴承装置的滑动表面层。

图 3 是表示图 2 中所示的固体润滑材料的颗粒直径分布的表格。

图 4 是表示构成参考例中的滑动表面层的固体润滑材料的颗粒直径分布的曲线图。

图 5 是表示图 4 中所示的固体润滑材料的颗粒直径分布的表格。

图 6 是表示构成另一参考例中的滑动表面层的固体润滑材料的颗粒直径分布的曲线图。

图 7 是表示图 6 中所示的固体润滑材料的颗粒直径分布的表格。

图 8 是根据本发明的另一实施例的、用于具有动压轴承装置的硬盘驱动装置的轴旋转类型的主轴电机的剖面图。

#### 具体实施方式

以下将结合附图详细描述本发明的实施例。在描述之前，首先将概括解释用于硬盘驱动装置（HDD）的主轴电机，该主轴电机将作为一个采用根据本发明的动压轴承装置的例子。在该实施例中的主轴电机用于 2.5 英寸 HDD。

5 图 1 中示出的用于 HDD 的轴旋转类型的主轴电机的一般结构包括：作为固定元件的定子单元 10，以及作为旋转元件的转子单元 20，该转子单元从图 1 中的上侧与定子单元 10 连接。定子单元 10 具有固定框架 11，该固定框架 11 通过螺钉与固定基座（未示出）固定。该固定框架 11 由铝类金属材料制成，从而减轻重量。环形轴承保持器 12 形成为立在固定  
10 框架 11 的基本中央部分处，轴承套 13 通过压力配合工序或冷缩配合工序与轴承保持器 12 配合，该轴承套 13 具有中空圆柱形状并作为动压轴承元件。该轴承套 13 由铜类材料（如磷青铜）制成，从而可以容易地形成小孔。

此外，定子芯 14 为层压的电磁铁并与轴承保持器 12 的外围连接表面  
15 面相连，驱动线圈 15 绕定子芯 14 的凸极缠绕。

此外，构成转子单元 20 的旋转轴 21 插入到轴承套 13 的中心孔中，该轴承套 13 作为可旋转方式的动压轴承元件。也就是说，轴承套 13 的内表面的动压面与在径向邻近的旋转轴 21 的外表面的动压面相对。两个  
20 径向动压轴承部分 RB 和 RB 以在轴向隔开适当距离的方式形成在轴承空间中，该轴承空间包括位于两动压面之间的微小间隙。更具体地，在径向动压轴承部分 RB 中的轴承套 13 的动压面和旋转轴 21 的动压面设置成通过数微米的微小间隙以圆周方式彼此面对。润滑流体（例如润滑油或磁性流体）被喷射进入包括微小间隙的轴承空间，从而在轴向上连续。

此外，轴承套 13 和旋转轴 21 的动压面中的一个或两个设置有径向  
25 动压产生槽，该动压产生槽具有例如人字形，该动压产生槽形成为环形地分为两部分。通过旋转，该径向动压产生槽起到泵的作用并向润滑流体（未示）施压，从而产生动压。该润滑流体的动压以非接触的状态在径向上朝着轴承套 13 支撑旋转轴 21 和旋转毂 22（将在下面说明）。

另一方面，旋转毂 22 与旋转轴 21 构成转子单元 20，旋转毂 22 由基

本为杯形的元件制成，该杯形元件由铁类的不锈钢制成。示出的旋转轴 21 的上部通过压力配合工序或冷缩配合工序装配在连接孔中，该连接孔设置在旋转毂 22 的中央部分。旋转毂 22 具有基本为圆柱形的主干部分 22b 和盘状台 22c，该主干部分 22b 在外围部分上保持记录介质盘例如磁  
5 盘（未示出），该盘状台 22c 从主干部分 22b 沿径向向外延伸，从而在轴向支撑记录介质盘。记录介质盘通过夹持器（未示）固定，该夹持器从图 1 中的上侧部分放置并用螺丝拧紧，从而向下压记录介质盘。

此外，环形驱动磁铁 22e 通过由磁性材料制成的环形轭 22d 与旋转毂 22 的主干部分 22b 的内壁面相连。环形驱动磁铁 22e 的内圆面设置成  
10 面向并接近定子芯 14 的凸极部分的外端表面。环形驱动磁铁 22e 的下端面在轴向上位于与磁性吸引板 23 相对的位置上，该磁性吸引板 23 在轴向上与固定框架 11 相连。元件 22e 和 23 之间的磁性吸引力使得整个上述旋转毂 22 被磁性吸引，从而得到稳定的旋转状态。而且，该实施例设计成这样，即转子单元 20 的重量和上述磁性吸引力之和为 100 克或更小。

此外，在图 1 中的轴承套 13 的下端设有开口部分，该开口部分由盖  
15 13a 封闭，因此在上述径向动压轴承部分 RB 中的润滑流体不会向外泄漏。

而且，图 1 中的轴承套 13 的上端面和旋转毂 22 的中心部分的下端面设置成在轴向上相互面对且相互接近。轴承套 13 的上端面和旋转毂 22  
20 的下端面之间的轴承空间设有从径向轴承部分 RB 开始连续的推力动压轴承部分 SB。即，在轴承套 13 的上端面和旋转毂 22 的下端面之一或两者之上形成有螺旋形或人字形的推力动压产生槽。包括推力动压产生槽的、在轴向上的相对部分为推力动压轴承部分 SB。

轴承套 13 的上端面的动压面和旋转毂 22 的下端面的动压面彼此相对和接近并构成了推力动压轴承部分 SB，这两个动压面设置成彼此面对  
25 且在旋转时在轴向相隔数微米。诸如润滑油和磁性流体的润滑流体从径向动压轴承部分 RB 供给，从而连续填满旋转时具有微小间隙的轴承空间。通过上述推力动压产生槽的泵吸作用，润滑流体受压从而产生动压。旋转轴 21 和旋转毂 22 以非接触状态浮动在推力方向上的方式由润滑流体的动压支撑。

本实施例中的推力动压轴承部分 SB 布置在这样一个位置，该位置与轴承空间的最外侧对应，该轴承空间包括旋转毂 22 的下端面和轴承套 13 的上端面之间的间隙，从而也作为泵吸装置工作，用于沿径向对润滑流体向内施压，润滑流体存在于轴承空间的整个部分中，该轴承空间包括

5 轴承空间最外部分的推力动压轴承部分 SB。

此外，由毛细管密封部分 24 构成的流体密封部分由作为动压轴承元件的轴承套 13 的最外壁面限定。即，作为流体密封部分的毛细管密封部分 24 从在径向上包括推力动压轴承部分 SB 的轴承空间的外侧开始连续。轴承套 13 的外壁面和环 25 的内壁面限定毛细管密封部分 24，该环 25 作

10 为液滴止挡件并形成在径向与轴承套 13 的外壁面相对。环 25 由固定于凸缘部分 22f 的环状元件构成，该凸缘部分 22f 设置在旋转毂 22 上。环 25 的内壁面和轴承套 13 的外壁面之间的间隙朝着图 1 中下侧的开口部分连续地增大，从而限定了锥形的密封空间。然后，在推力动压轴承部分 SB 中的润滑流体被连续地供给到毛细管密封部分 24。

此外，图 1 中的轴承套 13 的上部沿径向向外延伸，从而形成液滴止挡轴环部分 13b。轴环部分 13b 的一部分与环 25 的一部分在轴向上相对。通过轴环部分 13b 和环 25，防止了旋转毂 22 在轴向上的脱落。

具有耐磨性的滑动表面层 26 通过涂覆工艺或其他工艺形成为在平面上的一层膜，该平面包括构成推力动压轴承部分 SB（参见图 1 中的交叉

20 线部分）的旋转毂 22 的下端面的动压面。该滑动表面层 26 由树脂润滑膜制成，在该树脂润滑膜中分散有由许多颗粒制成的固体润滑材料。作为在本实施例中的固体润滑材料，采用了具有分裂特性的一种材料，例如石墨或二硫化钼，即采用具有表面层能以薄膜剥落的特性的材料。

包括在滑动表面层 26 中的固体润滑材料的颗粒的最大直径设置成小

25 于在径向动压轴承部分 RB 中的轴承空间的最小间隙尺寸。在图 2 和图 3 的例子中，在径向动压轴承部分 RB 中的间隙大约是一侧 3 微米，同时使用由二硫化钼颗粒制成的固体润滑材料。颗粒的平均直径为 1.132 微米，98%的颗粒的直径最大到 2.667 微米。

这里，轴承空间的最小间隙尺寸是指：在旋转轴 21 的轴线中心与轴

承套 13 的轴线中心重合时，旋转轴 21 和轴承套 13 之间在径向上在径向动压轴承部分 RB 上的间隙的最小尺寸。而且，如图 1 所示，当沿轴向观看截面时，旋转轴 21 和轴承套 13 之间沿旋转轴 21 径向在两侧都会产生间隙。但是，这里的径向间隙是指在两侧中的一侧的间隙，而不是两个间隙的总和。

这里，可能发生这样的情况，即设置于推力动压轴承部分 SB 的滑动表面层 26 仅有一部分剥落并悬浮在推力动压轴承部分 SB 的轴承空间中。由于旋转时推力动压轴承部分 SB 中的间隙较大，所以这种情况几乎不会成为问题。但是，如果滑动表面层 26 的剥落颗粒从具有较大间隙尺寸的推力动压轴承部分 SB 移动到具有较小间隙尺寸的径向动压轴承部分 RB 的轴承空间中，则会以在传统结构中同样的方式发生颗粒被捕获在小间隙中的现象。但是，根据具有上述结构的本实施例，由于颗粒的直径小于在径向动压轴承部分 RB 中的轴承空间的最小间隙尺寸，滑动表面层 26 的剥落颗粒不会被捕获在轴承空间的间隙中。因此，能保持平稳的旋转状态，从而极大延长了轴承的寿命。

特别是，由于固体润滑材料具有分裂的特性，该固体润滑材料构成在根据本实施例的动压轴承装置中的滑动表面层 26，所以从滑动表面层 26 剥落的固体润滑材料的颗粒以薄鳞片的形​​式悬浮在润滑流体中。当压力施加到包括滑动表面层的颗粒的薄鳞片的润滑流体上时，这些颗粒的薄鳞片被布置成这样，即薄鳞片的厚度方向对应于径向。结果是，滑动表面层的颗粒确定不会被捕获在旋转轴 21 和轴承套 13 之间。因此，可以维持颗粒的平稳的悬浮状态，从而提高装置的安全性。

此外，考虑到推力动压轴承部分 SB 的耐磨性，需要包括在滑动表面层 26 中的固定润滑材料的颗粒的直径较大。但是，在本实施例的情况下，主轴电机具有较轻的旋转元件的重量，这是因为转子单元 20 的重量与环形驱动磁铁 22e 和磁性吸引板 23 之间的磁吸力之和为 100 克或者更小。与具有更重的旋转元件的主轴电机相比，在这种情况下推力动压轴承部分 SB 的磨损进程就非常缓慢。因此，当将包括在滑动表面层 26 中的固体润滑材料的颗粒的最大直径设定成小于在径向动压轴承部分 RB 中的轴

承空间的最小间隙尺寸时，耐磨性的问题就不会产生，这样对于具有较轻旋转元件的主轴电机来说，就可以获得上述的效果。

与之相反，在图 4 和图 5 中示出的参考例中，使用的是由平均直径为 2.348 微米的二硫化钼颗粒制成的固体润滑材料。但是，这些颗粒中  
5 仅有 70%的直径小于 2.990 微米。在图 6 和图 7 示出的参考例中，固体润滑材料由平均直径为 4.716 微米的石墨颗粒制成，并且仅有 20%的直径小于 2.988 微米。已证实，与上述实施例不同，在这些参考例中不能获得需要的轴承寿命。

也就是说，使用 HDD 主轴电机进行了寿命试验，该主轴电机采用了  
10 包括有由根据图 2 和 3 中示出的例子的固体润滑材料制成的滑动表面层 26 的推力动压轴承部分 SB。试验的结果是，不会因为从滑动表面层 26 上剥落的固体润滑材料的颗粒而发生 HDD 主轴电机停止的现象。与此相反，当采用包括有由根据图 4 和 5 中示出的参考例的固体润滑材料制成的滑动表面层 26 的推力动压轴承部分时，由于固体润滑材料的剥落颗粒，  
15 HDD 主轴电机在旋转 67.5 个小时之后停止。而且，当采用包括有由根据图 6 和 7 中示出的参考例的固体润滑材料制成的滑动表面层 26 的推力动压轴承部分时，由于固体润滑材料的剥落颗粒，HDD 主轴电机在旋转 67 个小时之后停止。

下面，将参考图 8 描述另一个实施例，其中，对于对应于上述实施  
20 例中的元件，使用相同的标号。在图 8 中示出的实施例中，作为液滴止挡件的盘状止推板 31 与旋转轴 21 的下端部相连。在止推板 31 的上表面上形成有推力动压轴承部分 SB1，同时在止推板 31 的下表面形成有推力动压轴承部分 SB2。即，推力动压轴承部分 SB1 形成在止推板 31 的上表面与轴承套 13 的相对表面之间的轴承空间中，轴承套 13 的相对表面与  
25 止推板 31 的上表面相对并接近。而且，平衡板 (counter plate) 32 设置成沿轴向与止推板 31 的下表面相对并接近，且平衡板 32 被固定，从而在其下端部处封闭轴承套 13 的开口部分。推力动压轴承部分 SB2 形成在包括止推板 31 和平衡板 32 之间的间隙的轴承空间中。

在这个实施例中，也可以与前述实施例相同的方式为推力动压轴承

部分 SB1 和 SB2 的每个动压面设置滑动表面层，从而获得与前述实施例相同的效果。

尽管本发明基于上述这些实施例进行了详细的描述，但是本发明并不限于这些实施例。在本发明的范围内，可以修改实施例的结构。

5 例如，尽管在上述实施例中滑动表面层 26 设置于旋转毂 22，但是滑动表面层 26 也可设置于轴承套 13 的下端面的动压面侧。还有，它也可以设置于每个元件。

本发明应用于具有轴承空间的动压轴承装置，其中在上述实施例中，推力动压轴承部分和径向动压轴承部分在该轴承空间是连续的。但是本  
10 发明也可以应用于这样的推力动压轴承装置，其中推力动压轴承部分和径向动压轴承部分相互独立。

而且，尽管在上述实施例中，在推力动压轴承装置 SB 形成有其中分布有固体润滑材料的树脂润滑膜，但是也可以在径向动压轴承部分形成固体润滑膜。

15 此外，本发明能应用于使用空气作为润滑流体的动压轴承装置，而不同于如上述实施例中的使用油或磁性流体作为润滑流体的动压轴承装置。

此外，尽管本发明在上述实施例中应用于 HDD 主轴电机，但是本发明还能应用于其它各种动压轴承装置。

20

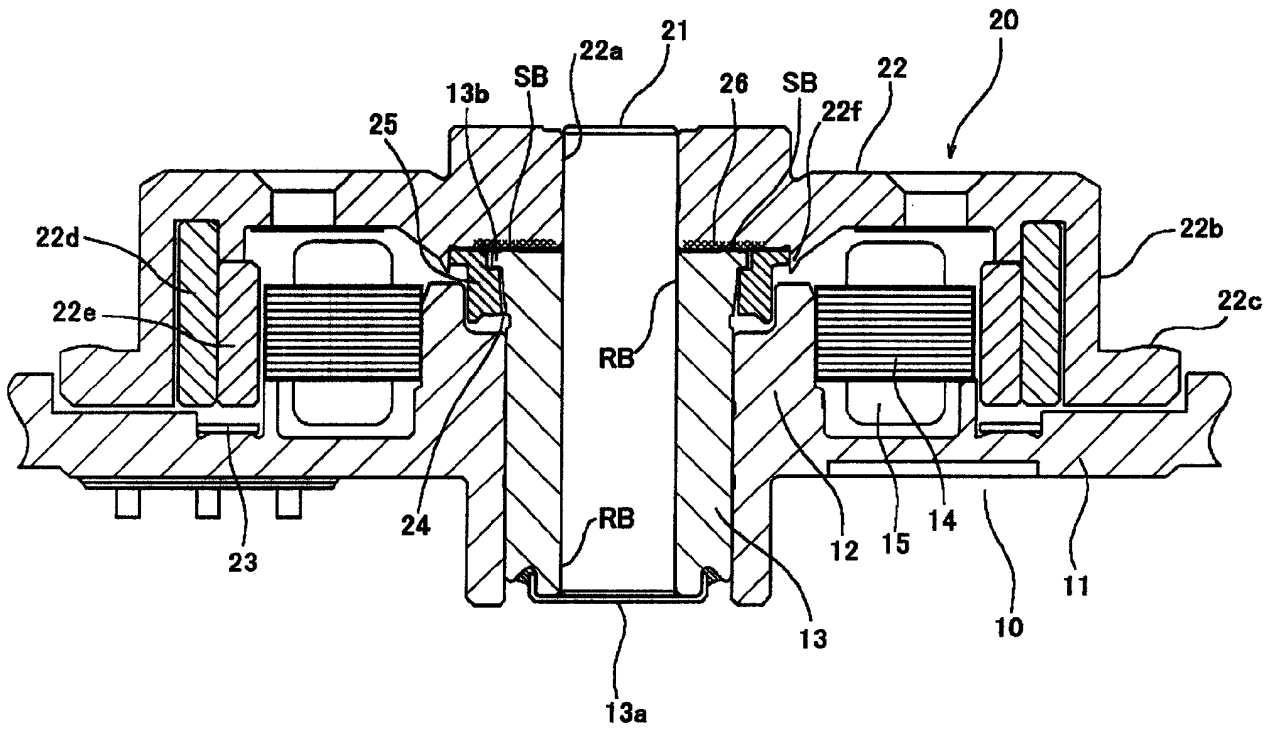


图 1

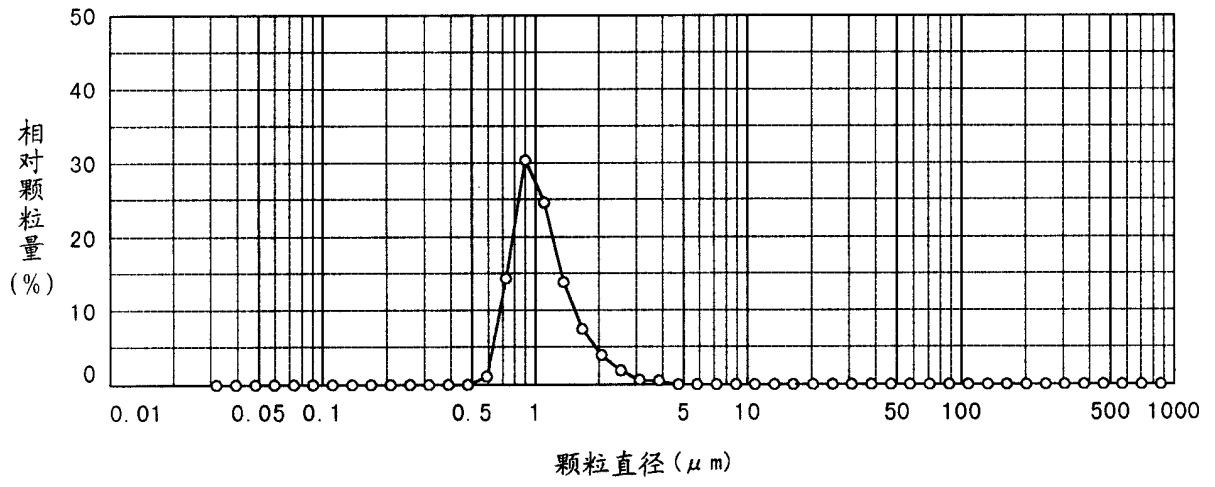


图 2

	积分值 Q(%)	颗粒直径 $x(\mu\text{m})$		积分值 Q(%)	颗粒直径 $x(\mu\text{m})$		积分值 Q(%)	颗粒直径 $x(\mu\text{m})$
1	98.000	2.667	18	64.000	1.200	35	30.000	0.922
2	96.000	2.300	19	62.000	1.180	36	28.000	0.909
3	94.000	2.050	20	60.000	1.161	37	26.000	0.896
4	92.000	1.910	21	58.000	1.143	38	24.000	0.884
5	90.000	1.803	22	56.000	1.124	39	22.000	0.871
6	88.000	1.702	23	54.000	1.106	40	20.000	0.859
7	86.000	1.608	24	52.000	1.088	41	18.000	0.847
8	84.000	1.550	25	50.000	1.071	42	16.000	0.835
9	82.000	1.505	26	48.000	1.054	43	14.000	0.823
10	80.000	1.461	27	46.000	1.037	44	12.000	0.812
11	78.000	1.418	28	44.000	1.020	45	10.000	0.801
12	76.000	1.377	29	42.000	1.004	46	8.000	0.776
13	74.000	1.337	30	40.000	0.989	47	6.000	0.737
14	72.000	1.297	31	38.000	0.975	48	4.000	0.700
15	70.000	1.260	32	36.000	0.962	49	2.000	0.665
16	68.000	1.239	33	34.000	0.948			
17	66.000	1.219	34	32.000	0.935			

图 3

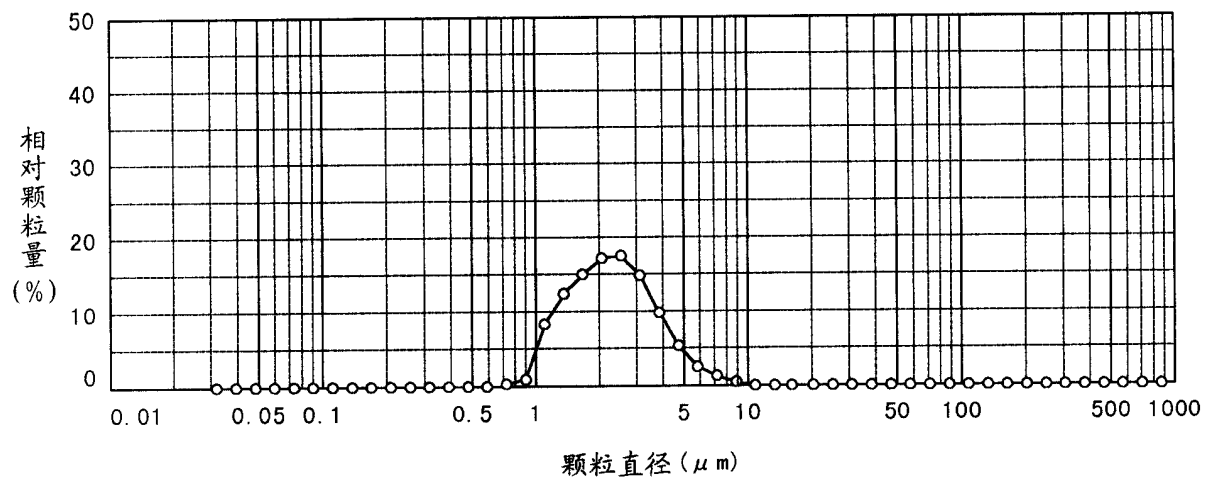


图 4

	积分值 Q(%)	颗粒直径 x( $\mu$ m)		积分值 Q(%)	颗粒直径 x( $\mu$ m)		积分值 Q(%)	颗粒直径 x( $\mu$ m)
1	98.000	5.980	18	64.000	2.774	35	30.000	1.794
2	96.000	5.147	19	62.000	2.704	36	28.000	1.744
3	94.000	4.768	20	60.000	2.637	37	26.000	1.694
4	92.000	4.488	21	58.000	2.570	38	24.000	1.647
5	90.000	4.224	22	56.000	2.506	39	22.000	1.600
6	88.000	3.978	23	54.000	2.445	40	20.000	1.549
7	86.000	3.846	24	52.000	2.386	41	18.000	1.496
8	84.000	3.719	25	50.000	2.328	42	16.000	1.445
9	82.000	3.597	26	48.000	2.272	43	14.000	1.396
10	80.000	3.478	27	46.000	2.216	44	12.000	1.348
11	78.000	3.363	28	44.000	2.163	45	10.000	1.302
12	76.000	3.252	29	42.000	2.110	46	8.000	1.258
13	74.000	3.149	30	40.000	2.059	47	6.000	1.188
14	72.000	3.070	31	38.000	2.009	48	4.000	1.121
15	70.000	2.993	32	36.000	1.955	49	2.000	1.059
16	68.000	2.918	33	34.000	1.900			
17	66.000	2.845	34	32.000	1.846			

图 5

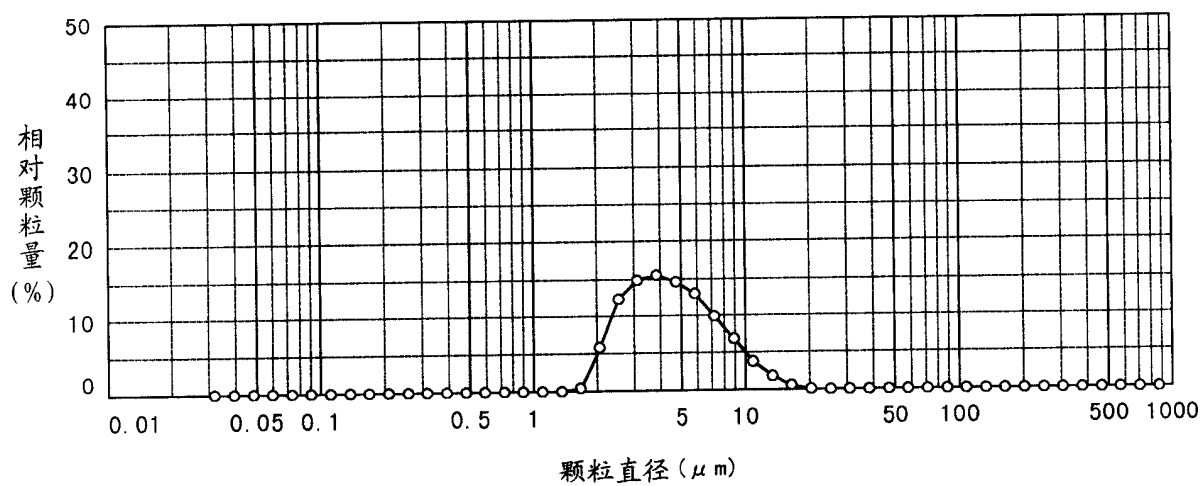


图 6

	积分值 Q(%)	颗粒直径 x( $\mu$ m)		积分值 Q(%)	颗粒直径 x( $\mu$ m)		积分值 Q(%)	颗粒直径 x( $\mu$ m)
1	98.000	13.859	18	64.000	5.543	35	30.000	3.448
2	96.000	11.877	19	62.000	5.377	36	28.000	3.355
3	94.000	10.695	20	60.000	5.215	37	26.000	3.265
4	92.000	9.798	21	58.000	5.059	38	24.000	3.176
5	90.000	9.257	22	56.000	4.918	39	22.000	3.082
6	88.000	8.746	23	54.000	4.785	40	20.000	2.998
7	86.000	7.263	24	52.000	4.657	41	18.000	2.897
8	84.000	7.852	25	50.000	4.531	42	16.000	2.809
9	82.000	7.559	26	48.000	4.409	43	14.000	2.724
10	80.000	7.277	27	46.000	4.291	44	12.000	2.641
11	78.000	7.006	28	44.000	4.175	45	10.000	2.561
12	76.000	6.745	29	42.000	4.063	46	8.000	2.463
13	74.000	6.493	30	40.000	3.954	47	6.000	2.337
14	72.000	6.263	31	38.000	3.847	48	4.000	2.217
15	70.000	6.075	32	36.000	3.743	49	2.000	2.103
16	68.000	5.982	33	34.000	3.642			
17	66.000	5.715	34	32.000	3.544			

图 7

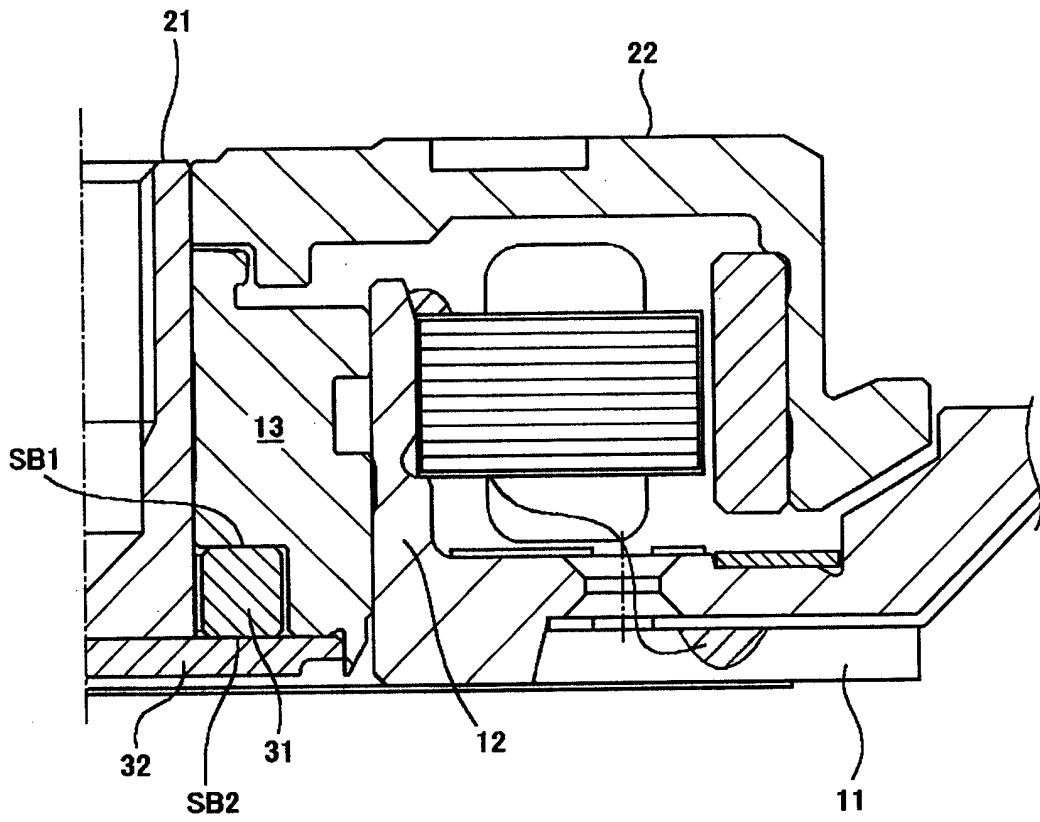


图 8