



[12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 90109008.5

[51]Int.Cl⁵

G01B 7/00

[45]授权公告日 1994 年 9 月 7 日

[24]颁证日 94.6.29

[21]申请号 90109008.5

[22]申请日 90.11.3

[30]优先权

[32]89.11.3 [33]GB[31]8924852.0

[32]89.11.3 [33]GB[31]8924853.8

[73]专利权人 兰克·泰勒·霍布森有限公司

地址 英国英格兰

[72]发明人 伊恩·肯尼思·巴克斯特

[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司

G01B 7/03

代理人 孙洁敏 林长安

G01B 5/20

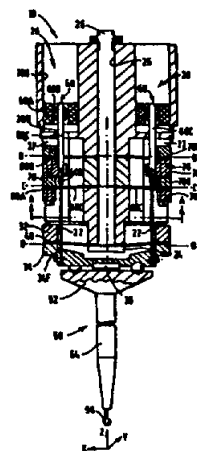
说明书页数:

附图页数:

[54]发明名称 测量探针

[57]摘要

一种连续测量工件的多轴测量探针，它的针头由相反方向作用的几个弹性力悬置从而确定一个平衡的静止位置。这种结构改进了探针的动态响应和精度的协调。在该探针的校准期间，沿着弯曲路线在探针给定的多个位置收集一系列探测数据，并收集一系列与探针无关的给定位置的位置数据，然后在探测数据和位置数据之间进行换算，以获得用于校正测量信号的校准参数。这些校准参数与一个测量表达式被贮存起来以备与探测输出信号一起应用，以获得校正的测量信号。



1. 一种用于测量工件的探针，该探针具有一条纵向Z轴并包括一个主体和一个针头或针头固定件，该针头或针头固定件有一个由许多个回复力之间的平衡所限定的相对于主体的静止位置，该多个回复力中的至少一个第一个回复力其大小随针头或针头固定件的位移而变化，其特征在于所述回复力是(i) 由一个膜片弹簧提供的，或(ii) 由一个其一部分构成该膜片弹簧的构件提供的，以便针头或针头固定件在Z轴方向上的移动变化膜片弹簧具有的锥形角度。

2. 如权利要求 1 所述的探针，其特征在于：其中多个所述回复力的大小随针头或针头固定件的位移而变化。

3. 如权利要求 2 所述的探针，其特征在于所述膜片弹簧包括：第一和第二弹性件，第一弹性件以第一方向作用在所述针头或针头固定件上，而第二弹性件以与第一方向相反的第二方向作用在所述针头或针头固定件上。

4. 如权利要求 2 所述的探针，其特征在于所述膜片弹簧包括一个弹性件，该弹性件有一个以第一方向作用在所述针头或针头固定件上的第一部分和以与第一方向相反的第二方向作用在所述针头或针头固定件上的第二部分。

5. 如权利要求3或4所述的探针，其特征在于：第一和第二方向基本上是反向平行的。

6. 如权利要求 3 所述的探针，其特征在于：第二弹性件包括一个基本上是薄片状的部件。

7. 如权利要求 6 所述的探针，其特征在于：第二弹性件包括一个或多个片簧部分。

8. 如权利要求6或7所述的探针，其特征在于：第二弹性件通过一

个或多个张紧件作用在主体或在针头或针头固定件上。

9. 如上述权利要求中1至4的任一项所述的探针，其特征在于：膜片弹簧定位在一个基本上垂直于Z轴的平面上。

10. 如权利要求 9所述的探针，其特征在于：当针头或针头固定件位于其所述静止位置时，所述膜片弹簧受力作用而成一个大致圆锥形状。

11. 如权利要求 3所述的探针，其特征在于：第二弹性件是一个压缩弹簧。

12. 如上述权利要求 1至 4的任一项所述的探针，其特征在于：在 Z轴方向上的测量力至少比垂直于 Z轴方向的平面上的测量力要大一个数量级。

13. 如权利要求 3所述的探针，其特征在于还包括：一个或多个另外的弹性件，每一个都以与第一方向相反的方向作用在针头或针头固定件上。

14. 一种测量探针，它具有一纵向Z轴并包括：

一个主体；

一个针头或针头固定件；

一个将针头或针头固定件相对主体支承以使其移动通过一个测量范围、并在主体和针头或针头固定件之间施加一个第一回复力的第一回复装置；

作用在主体和针头或针头固定件上并在其间施加一个与第一回复力相反的第二回复力的第二回复原装置；

至少一个根据针头或针头固定件的位置或移动发出一个输出信号的传感器，

在整个所述测量范围内第一和第二回复装置提供相互相反的第一和第二回复力，

其特征在于第一回复装置包括一个膜片弹簧，或一个其一部分构成该膜片弹簧的构件，以便针头或针头固定件在 Z 轴方向上的移动变化膜片弹簧具有的锥形角度。

15. 如权利要求13所述的探针，其特征在于：所有在主体和针头或针头固定件之间的连接都是挠性的。

16. 如权利要求14或15所述的探针，其特征在于：该探针包括具有构成第一回复装置的第一部分和构成第二回复装置的第二部分的构件。

本发明涉及一种测量探针,更具体地说是能够对工件上的多轴变化作出反应的测量探针。

欧洲专利第 240151A 号中的一个实施例提供一个用于计量仪的多轴连续测量探针,更具体地说是一种与一个测量仪配合使用的对工件的三维变化作出反应的形状测量装置,这种测量仪带有移动探针的装置,因而所得到的数据是探测信号与位移信号的函数。

用于形状测量的连续探针与触发探针不同。连续探针通过与工件连续接触来测量其形状。整个测量工作可能对工件的每一给定面积进行一系列的测量,由于工件的三维形状,探针必须在每两次这种测量之间重新定位。这种探针易于与触发探针区分,后者进行间歇的接触,以获得坐标测量读数。此外,触发探针有一个机械限定的静止位置,由此静止位置确定一个固定的基准位置,由这个基准位置出现所有的位移,而这个基准位置必须总是可复现的,即:针头的位移触发一个给出接触点坐标的输出信号,而不是将探针自身的位移测量值作为输出信号。

熟悉计量学专业的人都知道,测量探针在一个很定的位移范围内操作,并且它们在这个范围内的操作精确度是标定的。从英国专利第 1499003 号中得知,其针头在 X, Y 和 Z 轴上位移的探针由分离的多组弹性悬浮装置,即三组垂直的片簧提供,针头的静止位置就是每组弹簧的松弛状态。对于这些探针,它们的大小限制了探针接触复杂工件的能力,它们的运动部件的惯性又限制了数据收集的速率。

数据收集的速率直接与探针的频率响应相关。该频率响应是与探针针尖跟随轮廓外形变化的速度相关的参数——如果频率响应不足,

针尖就可能与工件脱离接触，在连续形状测量中这点必须予以避免。例如在圆度测量中，工件是在一个转盘上旋转——旋转的最大速度主要是由测量探针的频率响应来控制。具有较高频率响应的探针允许使用较大范围的旋转速度，并促进了在这种旋转速度下探针跟随轮廓外形变化的能力。因此，一个较高的旋转速度增加了数据的获得率以及用于工件检查的仪器的能力，即：合适的频率响应增大了多轴探针相对于单轴探针的优越性，为完成所有的测量数据，后者需要数次重新定位。

探针的频率响应受到探针运动部件的惯性和针头测量刚度的影响。高的惯性减少频率响应，而高的测量刚度增加频率响应。因此良好的频率响应只能在具有高测量刚度的高惯性探针上获得。然而，高的测量刚度必然会引起由针尖施加到工件上的大的力，如果这个力太大势必会降低用这种探针进行的测量准确性。

英国专利第 2004656 号公布了另一种具有多轴位移能力和基准点位置的测量探针的结构，这种探针用固定在壳体的边缘上的弹性件将针头装在壳体上，其基准点位置由弹性件推动一块安装板使针头接触壳体来确定，针头从这一位置绕着几个不同的枢轴点移动。这一安排也同样存在上述缺点，特别是在精确度和结果的重复性（由于由多于一个枢轴点而引起的机械变化）以及频率响应方面。

英国专利 GB2112139 号公布了一种多根线缆和作用在包括一个针头的各个部件上的弹簧结构。弹簧中没有一个是反向的，而且似乎没有东西可以阻止所有的弹簧同时闭合。所有部件似乎都能任意地扭转，而且并没有表示出针尖的运动如何能够产生出测量输出信号。

本发明的目的是克服这些缺点，提出一种探针，它具有更高的精确度，所获的结果的可重复性和加强频率响应的特点。此外，对于在一个圆度测量仪上进行的形状测量而言，由本发明的实施例可以认识

到，在针头的轴向方向上（Z方向）探针的刚度要求比针头在X，Y方向上移动的探针刚度更高。这个测量刚度是与施加在针头上使其位移的测量力相连系的。

在一个实施例中，还保证了使用中的针头重新定位不会损害结果的重复性。

本发明包括各种不同的方式。其中一个方式提出了一种测量工件用的探针，它包括由相反方向作用的回复力安装悬置针头的装置，这些回复力中至少有一个是弹性力，以便确定一个平衡的静止位置。

可以配置调整回复力中至少一个回复力的装置。

所谓弹性力就是一种其强度随着逆弹性力方向上的位移而增加的力，例如一般由弹簧施加的力。由于力的强度随着位移而变化，所以，它可以用来抵抗一个或多个其它的力以确定一个平衡位置。应当注意到，虽然相对的一个力或几个力在实际上一一般都是弹性力，但并不一定要求他们是弹性力。如果一个弹性力被一个恒力所对抗，平衡将出现在弹性力等于恒力的位置。

本发明的另一种方式是提供了一种在工件上进行多轴连续测量的探针，它包括一个由相反方向作用的回复力悬置安装的针头，这些回复力中至少有一个是弹性力，以便确定一个平衡的静止位置。

这种多轴探针可以在它的测量范围内，在X，Y平面和沿着其Z轴自由活动。静止位置名义上位于X，Y轴的交点（在X，Y平面范围X，Y的假想中心）和在沿Z轴向外运行的终端。针头沿任何方向位移后，它将回到该近似的静止位置，实际上这个近似静止位置将位于理论中心10个微米范围内。某一静止位置和上述静止位置之间的差异并不构成测量上的误差，因为针头的正确静止位置总是由传感器信号读数而知的。

这种探针的针头的移动并不限于在X，Y或Z方向上不连续的平移

运动，而是，例如，它可以跟随一个在 X，Y 平面上的弧形路线移动。

在本说明中，探针针头的运动被描述为弧形指的是在这种运动中针头是倾斜的。这种运动可能，但并不一定是必然的对这种倾斜有一个单独的恒定中心，使针尖在球面上移动。通常探针有一个沿着 Z 方向的纵向轴线，在其静止位置时针头沿这个方向垂直延伸。由于针头的倾斜，在 X 和 / 或 Y 方向上的弧形运动常常会伴随一些 Z 向位移。因此在本说明中提到针尖在 XY 平面内和在 X，Y 或 XY 方向的移动和位置并不意味着针头的 Z 坐标值一定是固定不动，而是指在 Z 方向上不存在任何施加力的情况下，由于 X 和 / 或 Y 方向的力引起的针尖投射到 XY 平面上的运动和位置。XY 方向是在 XY 平面上的任何方向。

根据本发明另一种方式，一种测量工件的探针包括一个主体和一个针头或针头固定件，该固定件带有一个由许多力之间的平衡而限定的相对于主体的静止位置。在这个实施例中，探针有一个针头固定件，其上带有针头或可以安装针头，力首先作用在针头固定件上。但是，使力直接作用在针头上的安排也是可以的。

通常，探针包括一膜片弹簧，该膜片弹簧包括第一和第二弹性件，第一弹性件按第一方向作用在针头或针头固定件上，而第二弹性件按与第一方向相反的第二方向作用在针头固定件上。也可能还有一个或多个弹性件，每一个都以与第一方向相反的方向作用。

另一种方式是探针包括一膜片弹簧，该膜片弹簧可以包括一个弹性件，其第一部分以第一方向作用在针头或针头固定件上，而其第二部以与第一方向相反的第二方向作用在针头或针头固定件上。

探针最好包括一个弹性膜片，该膜片在针头或针头固定件的静止位置被预加应力形成一个圆锥形状。这种预加应力使膜片稳定，并且如果它被用作针头或针头固定件弧形运动时的枢轴的话，改进了它的性能。

如果它的一个分力逆平行于另一个分力的话，一个方向被认为与另一个方向相反，也就是说它有一对平行分力但相互方向相反。如果两个弹性件或部件不能同时被卸荷，它们就互相对持。

根据另一种方式，一种用于对工件进行多轴连续测量的探针包括：一个壳体，一个针头组件，一个弹性膜片，通过这个膜片针头组件被安装在壳体上以便在 X，Y和Z方向上移动，若干个传感器与针头组件相连，被布置的所述传感器根据针头组件相对于壳体的移动产生传感器信号，其中弹性偏压装置和所述膜片的安排使所述针头组件由相反方向作用的回复力所悬置，这些回复力中至少有一个是弹性的以便确定一个平衡的静止位置。

各种传感器在本技术领域内是人们熟知的，此处用电感式传感器作为例子，但其它型式的传感器如电容或光学传感器也能应用。

根据另一种方式，一种在工件上作多轴测量的探针包括一个壳体，一个针头组件，一个借此将针头组件装在壳体上，以便使其在X，Y和Z方向移动的弹性膜片，与针头组件相连接的多个传感器，被安排的所述传感器根据针头组件相对于壳体的运动发出信号，其中，所述膜片在针头的静止位置上预加应力。

根据另一种方式，一种在工件上作多轴测量的探针包括：一个壳体，一个针头组件，一个借此将针头组件装在壳体上，以便使其在 X，Y和Z方向移动的弹性膜片，多个与针头组件连接的传感器，被安排的所述传感器根据针头组件相对于壳体的运动发出信号，其中，布置了一些连接机构，以根据针头组件的运动将每个传感器的移动元件的移动限制为基本上是直线移动。

在一个优选的实施例中，传感器是电感式传感器，而活动元件是一个电枢传导管。

根据另一种方式，测量探针包括：

一个主体;

一个针头或针头固定件;

第一回复装置, 这种装置将针头或针头固定件相对地装到主体上, 以便移动通过一段测量范围并在主体和针头或针头固定件之间施加一个第一回复力。

第二回复装置, 这种装置作用在主体和针头或针头固定件上并在其间施加一个第二回复力以对抗第一回复力; 和

至少一个传感器, 这种传感器根据针头或针头固定件的位置或移动发出一个输出信号;

第一和第二回复装置, 这种装置在整个所述的测量范围之间提供相互对抗的第一和第二回复力。

针头还包括一块适合于磁性和可移动地安装在一块安装板上的定位板。该定位板和安装板通过在其中之一块板上的间隔元件放置在其中另一块板上的支座装置中而予以对齐。该间隔元件可以是球状件(例如球支承), 而支座装置可以是一条凹槽或者是一种由几个支座元件形成的支座, 例如间隔开的滚柱支承。间隔元件可以等角度间隔安排。

根据本发明另一种方式, 提出了一种将针头安装在一个用于形状测量的探针上的方法, 其中针头由吸引力吸附在针头固定件上, 针头和针头固定件各有相互接触精密定位的表面, 这两个表面在吸引力的影响下相互作用将针头推压在针头固定件的一个预定位置上。

一般说来, 为了要提供精确的测量输出信号, 测量仪需要进行校准工作。这对于弧形运动的探针似乎已成为一个特定的要求, 但是除探针以外的仪器和非弧形运动的仪器也要求校准。

目前已知的校准坐标测量仪有Renishaw plc提供的检查测量仪的检验仪器, 基本上如1989年英国标准(British Standard) 6808, 第

三部分中的图10所示。这个检验仪器包括：一个其上有一个支承的底座，有一个支臂的一端装在该支承的一端上，该支臂能有角度地自由活动，但在纵向上是固定的。一个其上装上一个针头的接触触发探针装在一个坐标测量仪上进行校准，针头在检验仪器支臂自由端处的叉形接头上运动。操作坐标测量仪使针头（连同其检验仪器支臂）绕检验仪器支承的顶部以各种角度转动，并在每一个靠近支承顶部处的角度采集一个接触触发读数。检验仪器支臂装置的纵向坐标，即针尖在其向内移动的极限处所到达的所有各点都在一个共同的球面体上，该球面体的半径由检验仪器支臂的长度确定并且其中心在检验仪器支承顶部的枢轴处。坐标测量仪对这些点中的每一个读数可以作为比较，估计它操作中的体积误差。

但是，这种方法只能用来校准一个坐标测量仪。在探针作为坐标测量仪的一部分的情况下，所有在校准过程中被比较的信号都是来自这个测量仪，没有一个是来自一个独立的校准设备。在探针与坐标测量仪分离的情况下，这个方法校准的是测量仪而不是探针，并且这个方法假定探针本身是精确的和已被校准的。这个方法的公开描述中只述及使用一个接触触发探针。

在国际专利WO 88 / 06714号中公布了一种测量仪的校准装置，其中测量仪的两个部件之间产生的相对移动使测量仪工具接触触发探针放在一个工件上。该测量仪包括移动工具或探针的装置和沿着三个轴测量运动的刻度。在这个校准装置中，工具或探针的真实位置是通过测量从它反射的一条激光束而得的。刻度的校准是通过将工具或探针沿着激光束朝着激光器或离开激光器的传输线移动，然后将刻度位置输出信号与由激光束测量的真实的工具或探针位置作比较进行的。校准误差可以贮存在一个误差图内。激光束可以沿着X轴方向，Y轴方向或沿着对角线方向引导。在这种校准装置中，测量轴是由刻度来限定

的而不能由校准工作来确定。同样的，也没有提出将这种校准装置用在不能限定自己的轴的装备上。此外，在每两个校准活动之间必须移动激光装置，因为这个校准活动一定要沿着激光束传输线进行。因此工具或探针的移动不可能根据由校准装置限定的一个共同基准位置精确地给以校准。

对于一个具有其针头可以在X和Y方向偏离轴线结构的探针进行精确的测量，如果探针的校准仅是使针尖沿着一条随X轴校准X坐标的测量信号和沿Y轴校准Y坐标的测量信号的通路移动是不可能获得最好的结果。因此，校准操作应当考虑在校准操作期间针尖的双维移动，因而X和Y坐标都可以对在XY平面内针尖的任何位置予以校准。这个校准操作将根据探针输出信号的非线性而有较大或较小的数值。

根据本发明的另一种方式，提出了一种校准一个其针尖能够在至少两维移动的连续测量探针的方法，它包括下列步骤：

- a) 由探针获取其针头在多个位置上的一系列探测数据，
- b) 对应于上述多个位置获取与探针无关的一系列位置数据，
- c) 比较探测数据和位置数据，以得出用于将探测数据校正为校正过的探针位置数据的校准参数。

其特征在于：

所述多个位置中包括限定一条直线的第一点和第二点，和一个偏离这条直线的第三点，为第一，第二和第三点的每一个点所得出的位置数据限定探针相对于一个共同基准点的位置。

最好这多个位置中还包括一个第四点，它偏离由第一和第二点限定的直线，由第一和第三点限定的直线和由第二和第三点限定的直线中的每一条直线，以便第四点所得出的位置数据限定探针相对于所述共同基准点的位置。

因此校准可以考虑不在同一条直线上的多个点的探测数据，并且

在所有这些点上的探针位置可以参考一个共同的基准，因而可以相对于一个共同基准点予以校准。探针最好沿着一条弯曲路线通过这些位置。

根据本发明的另一个方面，提出了一种校准一个其针头能够在至少两维移动的连续测量探针的方法，它包括下列步骤：

- a) 由探针获取其针头在多个位置上的一系列探测数据，
- b) 对应于上述多个位置获取与探针无关的一系列位置数据，和
- c) 比较探测数据和位置数据，以得出用于将探测数据校正为校正过的探针位置数据的校准参数。

其特征在于：

校正的针头位置数据限定针头相对于XY平面内的一条基准轴的位置，在这个平面内这条基准轴的方向由位置数据决定，该位置数据与探测数据的XY平面上的任何基准轴无关。

根据本发明的另一个方面，提供了一种校准一个具有能够在至少两维移动的针头的连续测量探针的方法它包括下列步骤：

- a) 从探针获取其针头在多个位置上的一系列探测数据，
- b) 对应于上述多个位置获取与探针无关的一系列位置数据，和
- c) 比较探测数据和位置数据，以得出用于将探测数据校正为校正过的探针位置数据的校准参数。

其特征在于：

校准参数为一个或多个转换函数提供了参数，这些转换函数将探测数据转换成所述校正的针头位置数据。

这些函数可以包括一个或多个多项式，校准参数为这些多项式提供系数。这些多项式可以在探测数据中包括二阶或更高阶项。这些系数可以分步确定，只有当一些系数保持为常数时，另一些系数值才能决定。

根据本发明的另一方面，提供了一种校准一个具有能够在至少X，Y平面内移动的针头的连续测量探针在 X，Y轴位移的方法，它包括如下步骤：从探针针头在给定位置上的输出信号获得一系列的探测数据，对上述给定位置获取独立于探测输出信号的一系列相应的位置数据，然后在探测数据和位置数据之间进行换算，以得出用于校正测量信号的校准参数，最后将用于测量操作中的测量函数与所述校准参数配合，由此，在随后的测量操作中，探测输出信号被处理以产生校正的测量信号。

在该方法的一个实施例中，校准操作是这样进行的，即先将探针置于一个带有一个工件转盘的形状测量仪上，然后从传感器输出一系列传感器信号予以处理，从而确定在校准函数中的校准参数值。这个校准专门校正探针的X，Y测量平面。对于探针主要用于形状测量的地方，针尖在X，Y（二维）平面上的位移一般是至关重要的。

根据本发明的另一种方式，提供了一种校准测量探针的方法，以使用校正的X、Y轴测量信号的输出分别表示探针针头在X和Y轴方向上的位移，所述形状测量探针包括：针头，相对于探针壳体的安装方式允许针头可以两维移动；和若干个根据所述针头移动输出关于所述针头位移的传感器信号的传感器，所述的校准使所述校正的测量信号输出取自所述传感器信号，其中所述探针的校准包括下列步骤：1. 将探针布置在相对于位移装置的一个预定位置上，以便使针头沿着一条限定的路线移动（在其操作范围内），2. 驱动位移装置使针头沿着所述规定的路线移动，3. 收集作为传动数据的每个传感器对针头每一系列间断的测量位置的每一位置的传感器输出信号，4. 收集对于所述不连续的测量位置中的每一个给出针头的测量位置的位置数据，5. 在传感器数据和位置数据之间进行换算，以便获得校正测量信号的校准参数，6. 将所述校准参数进行贮存，以便在随后的测量操作中传动机输出信

号被处理，以产生所述校正过的测量信号。

在一个优选的实施例中，位移装置被驱动使针头沿着所述限定的路线以间断的间隔移动，而间断的测量位置由所述间断的间隔确定。

在另一种方式中，位移装置被驱动，使针头沿着所述限定的路线移动，而间断的测量位置可以是传感器数据被收集的位置。在一个实施例中，针头沿着一系列同心圆移动，位移装置的运动可以是连续性的，沿着一条圆形路线行进，传感器数据在沿着该路线间断的位置处收集，当旋转的半径需要调整到一系列同心圆中下一个圆形路线时。针头的移动出现中断。

通过将针头安排在一个绕着形状测量仪的旋转盘旋转中心的环路上(正如一个最佳实施例)，针头相对于旋转中心的位置就可以精确地定下来。可以认识到，旋转半径 R 和旋转角 θ 可以使任何给定测量位置的 X , Y 坐标被计算出来， $X = R \sin \theta$ 和 $Y = R \cos \theta$ 是公认的。

因此，对给定的一系列针头的移动获得传感器输出信号(并将其转换成尺寸信号)，这些传感器输出信号与从旋转半径 R 和旋转角 θ 测量的位置数据计算出的 X , Y 坐标作数学上的比较。使用已知的方法就可以将这些传感器输出信号从模拟信号转换成数字信号，并调节这些数字信号，以对应于一个给定的测量范围。例如，在对应于 $\pm 2\text{mm}$ 的径向位移的探针针头的操作移动范围内，传感器输出信号可以调节到相当于一个数字输出信号的 $\pm 10,000$ 比特 (bits)。在这个实施例中存在各种算法，其中有许多校准参数。这些参数被要求以便(调节和数字化的)传感器输出信号能够被处理，给出尺寸测量信号。这种校正应考虑到针尖在 X , Y 平面上的实际移动和探针与传感器的特性，否则这些因素可能会使测量信号失真。

X , Y 坐标值是从一些表达式中计算出来的，在这些表达式中，常数(参数)是由探测数据(测量出的)和位置数据进行计算确定的。

不论探针的传感器的数目多少，这种方法是适用的。

假定探针有多个传感器，其传感器输出信号为 $t_1, \dots, t_n$ 。在换算步骤中，对每个测量位置的 X, Y 坐标值是从位置数据中得出的，并被用来为表达式 $X=f_1(t_1, \dots, t_n)$ 和 $Y=f_2(t_1, \dots, t_n)$ 得出校准参数，其中函数 f_1, f_2 中包含校准参数。

在已描述的探针实施例中，探针具有与一个称为探针 X 轴的轴相连系的多个传感器，其传感器输出信号为 X_1, X_2 和与一个称为探针 Y 轴的轴相连系的多个传感器，其传感器输出信号为 Y_1, Y_2 。在这种情况下，对每一个测量位置的 X, Y 坐标的数值是从所述位置数据中得出的并用于为表达式 $X=f_1(X_1, X_2, Y_1, Y_2)$ 和 $Y=f_2(Y_1, Y_2, X_1, X_2)$ 得出校准参数，其中函数 f_1, f_2 中含有校准参数。

在另一实施例中，探针具有三个等角度安排的传感器，其输出信号为 t_1, t_2, t_3 。在这种情况下，对每一个测量位置来自于 X, Y 坐标的数值是由位置数据中得出的，并用于为表达式 $X=f_1(t_1, t_2, t_3)$ 和 $Y=f_2(t_1, t_2, t_3)$ 得出校准参数，其中函数 f_1, f_2 中含有校准参数。

不论在哪一种情况，函数 f_1, f_2 的每一个都是从传感器输出信号得出的一个第一测量表达式和一个第二校正表达式的乘积中计算出来的，第一测量表达式与测量轴相关连，第二校正表达式与垂直于测量轴的轴相关连，以便校正由于探针非轴向运动引起的传感器数据中的变化。

对于其传感器输出输出为 X_1, X_2, Y_1, Y_2 的探针， X 坐标的测量表达式为 $(A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2 + B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2 + C_1)$ ，其中 A_1, A_2, B_1, B_2 和 C_1 都是校准参数，并且这个表达式可以与校正表达式 $(D_1 \cdot Y_1 + D_2 \cdot Y_2 + E_1 \cdot Y_1^2 + E_2 \cdot Y_2^2 + G_1)$ 相乘，其中 D_1, D_2, E_1, E_2 和 G_1 都是校准参数。同样情况，对于 Y 坐标的表达式在下文中给出。

对于其传感器输出信号为 t_1 至 t_3 的探针，X坐标的测量表达式可以是 $(A_1 t_1 + A_2 t_3 + B_1 t_1^2 + B_2 t_3^2 + C_1)$ ，其中 A_1 ， A_2 ， B_1 ， B_2 和 C_1 都是校准参数，这些表达式可以被校正表达式所乘，校正表达式为 $(D_1 t_1 + D_2 t_3 + E_1 t_1^2 + E_2 t_3^2 + G_1)$ ，其中 D_1 ， D_2 ， E_1 ， E_2 和 G_1 都是校准参数。对于Y坐标，相应的表达式为 $(A_3 \cdot t_1 + A_4 \cdot t_3 + B_3 \cdot t_1^2 + B_4 \cdot t_3^2 + C_2)$ ，其中 A_3 ， A_4 ， B_3 ， B_4 和 C_2 是校准参数，和 $(D_3 t_1 + D_4 t_3 + E_3 t_1^2 + E_4 t_3^2 + G_2)$ ，其中 D_3 ， D_4 ， E_3 ， E_4 和 G_2 是校准参数。

如上所述，位置数据是从表达式 $X=R(\sin \theta)$ 和 $Y=R(\cos \theta)$ 中得出的，其中 R 是针尖从旋转轴的所述径向距离， θ 是所述的角位移。对于探针相对旋转轴位置上形成的误差可以通过计算校正。这类误差可以考虑在校准参数 C_1 ， C_2 ， dR_1 ， dR_2 和 $d\theta_1$ ， $d\theta_2$ 中，其中 C_1 ， C_2 代表探针的允许偏心距， dR_1 ， dR_2 为径向距离 R 的偏移， $d\theta_1$ ， $d\theta_2$ 为角位移 θ 的偏移。确定表达式 $X=(R+dR_1) \cdot \sin(\theta+d\theta_1)$ 和 $Y=(R+dR_2) \cdot \cos(\theta+d\theta_2)$ 中的 dR_1 ， dR_2 和 $d\theta_1$ ， $d\theta_2$ 数值，就可实现校正。

用两个偏移参数 dR_1 ， dR_2 的原因是进行了两次换算，X，Y轴各做一次。将两个值 dR_1 ， dR_2 做比较能对校准的精确度作进一步的核查（将在优选实施例中进行进一步予以叙述）。

根据本发明的另一个方面，提供了用于校准一个连续测量探针的校准设备，它包括使探针的针尖在XY平面上移动并根据针尖所移动到的位置提供位置信号的移动装置；将探针相对移动装置安装的装置；和接收所述位置信号和来自探针的信号，并由此决定校准数据的装置，以便根据所述位置信号校准来自探针的信号。

移动装置可以被驱动使针尖穿过若干个在XY平面上的点移动，这些点包括确定一条直线的第一和第二点和一个偏离这直线的第三点，并提供相对于所述第一，第二和第三点中的每一个的所述位置信号，

该信号指出针尖相对于一个共同基准点的位置。

根据本发明的另一个方面提供了校准一个测量探针的设备，校正的X和Y轴测量信号的输出分别表示X和Y轴方向上探针的位移，所述测量探针包括一个针头，针尖相对于探针壳体的安装允许针头作两维的位移，还包括若干个根据所述针头的移动输出与针头位移相关的传感信号的传感器，所述校准使校正的测量信号的输出来自于所述传感器信号。该设备包括将探针安排在相对于位移装置的一个预定位置上的安排装置，以便使针头沿着一条限定的路线移动，所述位移装置被操动，使针头沿着所述确定的路线移动；输出作为传感器数据的每一传感器对针头一系列间断的测量位置的每一位置的传感器输出信号的装置；对所述测量位置的每一个输出针头的给定测量位置的位置数据的装置；传感器数据和位置数据之间进行一次换算，以便获得校正测量信号的校准参数的装置，和贮存所述校准参数以便在随后的测量操作中传感器输出信号被处理以产生所述校正过的测量信号的装置。安排装置可由形状测量仪携带的支臂提供。位移装置可由形状测量仪的旋转工件转盘提供。在所述旋转转盘上安排有导引装置，用以与所述探针针头的针尖相接触。其安排使转盘旋转时，针尖沿着一条限定的路线移动。接着，测量位置的位置数据由针尖的旋转半径 R 和其角位移 θ 确定。

在一个实施例中，导引装置与一个滑块相连，使导引装置的移动能变化所述旋转半径 R 。在这种情况下，旋转半径 R 的渐增变化是由嵌入插块来确定的。

在另一种方式中，转盘可以有与其相连的定心装置，用于其沿它的XY轴移动。

一个角度编码器可与位移装置相连，以便提供不连续的角位移的测量信号。

申请人自己销售了一种形状测量仪，其商品名称为TALYROND 300，该测量仪作为这类仪器的例子予以说明。该仪器装有一个定心转盘，由此工件的位置可以以1.0微米(μm)的递增沿着转盘的X和Y轴移动。这种仪器可以使放在工件盘上的导引装置移动，以便绕着工件盘的旋转轴递增针尖的旋转半径。

这种校准方法的优选实施例的优点在于使针头安装在绕针头平衡位置至少180°隔开的地方上，校准装置不会与针头脱离接触。

根据本发明另一种方式，提供了用于在校准操作期间接纳和导引一个连续测量探针的针头的导引装置，在这个操作期间针头移动穿过许多从其静止位置移开的位置，该导引装置包括一对相互相对安置的支柱，使这两个支柱同时接触针头并将针头压靠在它们之间，在使用中，导引装置的位置须使支柱朝着横向于针头离开其静止位置的方向互相对齐，从而使促使针头重回至其原来位置的力迫使针头靠着支柱。

根据本发明的另一种方式，提供了用于校准一个带有一个针头及针尖的测量探针的导引装置，它包括一对支柱(例如，固定的滚针支承)，其排列和间隔须使其能将准备校准的探针针尖以活动接触的方式容纳在其间。

一些实施例还公开了一种可拆卸安装针头的针头组件，该组件利于针头替换，不需要再校准。

下面将参照附图，仅以举例的方式对本发明多种实施例予以叙述，其中：

图1表示测量探针的第一实施例的正面图(大部分为剖视)，该探针包括一个壳体和—个针头组件；

图2表示图1所示探针的分解透视图，其中针头已卸去；

图2A表示图1和2中的片簧的形状；

图3表示图1中沿A—A线截取的剖面图；

图4和5是针头组件可分开部件的平面图;

图6是图1中探针的变更型的示意图;

图7是图1中探针另一种变更型的示意图;

图8表示测量探针另一实施例的正面图(大部分为剖视),该探针也包括一个壳部和一个针头组件;

图9表示图8所示探针的分解透视图,其中针头已卸去;

图10表示图8中沿AA线截取的剖面图;

图11表示图8所示探针的部分放大断开图,局部为剖视;

图12和13表示图8所示针头组件的可分开部件的平面图;

图14和15表示本发明第三个实施例的纵向剖面图;

图16表示图15沿XVI—XVI线截取的水平面的端部视图;

图17表示一个膜片和预载弹簧组合体;

图18示意地表示图17中的组合弹簧的使用方法;

图19表示一个实施例中的校准仪的部分透视图,其中插有用于校准仪上的导引装置的平面图;

图20表示与图19中测量仪器相关的数据处理装置的方框图。

图1至图5表示一个与测量仪相结合使用的测量形状和尺寸的测量探针10。探针10包括一个壳体20,一个包括一个弹性膜片40的针头固定件或组件30,针头50就是利用该针头固定件或组件安装在壳体20上的,以便在正交的X,Y,Z方向上移动。这种针头的移动不是平移的,而是在XY平面上作弧形的移动,针尖的XY移动是通过倾斜针头完成的。

四个传感器60(图1中只表示了两个)装在壳体20内,四个连接机构70将针头组件30连接到传感器60上,使其根据针头组件30相对于壳体20移动产生电信号。针头组件30使针头50安装在膜片40上,这样,针头50的任何移动都被传递(以后将作说明)到传感器60。

针头组件30包括一个安装环32和一个安装板34,它们将膜片40卡

紧在其圆周上。膜片40同心地连接在壳体20上。从图2中可以看到，安装环32有一个圆周壁32A和一个下部径向延伸面32B。安装板34包括一个用于将膜片40卡紧在安装环32的延伸面32B上的上部34A，和一个带有一个圆周壁34C的直径减小部分34B，圆周壁34C上装有四个紧固调节器36。在安装板的底面34D上有一块磁铁38和几个球形件（例如球支承）39，以备安装针头50。针头50包括定位板52，从定位板向下延伸至针尖56的针杆54，针尖56与工件接触以实现测量目的。

从图4和5中可以看到，安装板34的球支承39与针头50的定位板52上的定位凹槽58对准。针头50可以从针头组件30上卸下来，当它位于其应用的位置上时，就被磁铁38吸住在该位置上。固定在安装板34上的球支承39，其大小必须使磁铁38与针头定位板52的顶部之间能留出一个空气间隙。这种安排的目的是，如果针头50遇到过大的力或者在XY的方向上遭到障碍物，它就能自行从安装板34上脱开，这种情况在安装环32碰到壳体20时出现，它形成一个阻挡件，限制针头组件30的倾斜（也包括向上的轴向运动）。这种安排保证了当任何一个针头卸下又重新再定位时，它将会准确地再回到它原来固定的位置上，由此避免了再校准。

可以注意到球支承39和定位凹槽58是以 120° 的角度等角度间隔开的。

从图2中可以注意到，安装环32，膜片40和安装板34上分别设有组装孔32E，34E和40E由连接件（未显示）将它们连接在一起。

壳体20的下端适合于安装膜片40，并由此安装针头组件30。为此目的，从主壳体心部的径向延伸底面20B（该表面构成上述的阻挡件）向下突出一个中央凸台20A，主壳体心部由部件20C，20D和20E组成。膜片40用一个固定件24卡紧在壳体凸台20A的中央，固定件上具有拧紧孔24A。壳体凸台20A与安装环32在探针轴向上各自的尺寸应当是这

样，即如图1所示，在安装环32的顶部和壳体底面20B之间必须有一个间隙，这个间隙提供针头组件30的移动测量范围。如前面所述，如果针头组件30在运行途中在XY方向遇到障碍物时，底面20B就作为一个限制阻挡件使针头50自行脱开。底面20B也作为向上Z方向运行的限制阻挡件，但在这种情形下，针头50不会自行脱开。

壳体20的构形还设置有一个中心孔25以容纳连接杆26，连接杆上装有固定件24。连接杆26穿过壳体延伸从而使各部件对中，并由一个螺母固定。壳体20的构形还设置了容纳刚性连接机构70的腔室27和容纳传感器60的腔室28。从图中可以清楚看到壳体部分20C连同其底面20B具有一个十字构形，在这构形中四个连接腔室27有规则地间隔设置。连接腔室27具有一个直线围着的构形，带有一个内壁27A，朝外的壁27B，壁27C平行于壁27A，和更朝外的壁27D，它延伸至壳体的周边，腔室27从探针向外敞开。腔室27是由每一个邻接的壳体部分20C，20D和20E的凹进部分所形成的。这三个壳体部分20C，20D和20E将一对板簧或片簧80A，80B夹在它们之间，其形状如图2A所示。

最下面的片簧80A同心地夹在壳体部分20C和20D的中间。片簧80A有一个夹在壳体部分20C、20D的轴向端面之间的环形部分和径向向外突出的肢状部80C(图3)，其构形类似于片簧，还有叶片80D。叶片80D也是有规则地间隔开，但是与肢状部80C隔开，以便能够被夹在壳体部分20C，D的那些延伸至周边的部分之间，如图3所示。片簧80B的构形与片簧80A的形状相同，安装在壳体部分20D和20E的端面之间。这对片簧80A，80B有几个作用，其中之一是对针头组件30的静止位置加压，另一个作用是作为导引装置以保证针头组件30和传感器60之间的连接装置(以后将予叙述)的直线运动，再一个作用是使线22处于张紧状态从而对膜片40施加预应力。

传感器60安装在壳体部分20E的四个等角度间隔的腔室20G内。传

感器60包括线圈60A和支持在电枢传导管60C上的电枢60B，电枢传导管穿过壳体部分20E上的通道20H以与连接腔室27相通。张紧的线22从被紧固调节器36紧固的安装板34延伸至电枢传导管60C，两者在60D处相连接(图1)。刚性的连接机构70将一对片簧80A，80B夹紧在一起，并固定地连接在电枢传导管60C上。可以看到，每个连接机构70都包括四个部件70A，B，C和D，它们由连接装(一根螺栓)70E牢固地连续在一起(图2)。部件70A和B夹紧片簧80B的肢状部80C，而部件70C，D夹紧片簧80A的肢状部80c。连接部件70C带有与电枢传导管60C相连接的装置。如上所述，在刚性连接机构70和电枢传导管60C之间的这一连接是刚性连接，因而针头组件30由张紧线22传到电枢传导管的运动，也传送到刚性连接机构70和片簧80A，80B。如以后将得知的，传感器60具有穿过腔室20G的上部线路(未显示)，因而传感器的信号可以由测量仪来处理。

针头组件30用膜片40来安装并通过张紧线22连接到片簧80A，80B上，这种探针的结构使针头50处于静止位置时，片簧80A，80B和膜片40以及线22都处于预张紧状态。在图1中，膜片40和一对片簧80A，80B的放松位置(即未受力状态)分别由线B，C和D指示。利用张紧的线22(每个传感器和每个肢体物80C用一根)，膜片40和片簧80A，80B被保持在图1所示的位置上，在这个位置它们被预加应力。针头组件30的静止位置，也就是针头50的静止位置是相对的弹性体，即膜片40和一对片簧80A，80B建立的一个平衡位置。在这个位置，由片簧80A，80B作用的弹力与膜片40作用的相对立的弹力是相平衡的。这意味着针头组件30的静止位置是这样一个位置，即针头组件30弹性地被保持在这个位置上，并且可从这个位置朝任何方向位移。

从图3中可以注意到，连接件29在壳体部分20C，D和E界定连接腔室27的区域内穿过这些部分，从而将各部件以旋转对准的方式夹紧在

一起。还可以注意到刚性连接机构70由定位销70F对齐定位，定位销平行地配置在连接件70E的两侧。

应当注意到，张紧线22穿过安装环32限定的开孔，并穿过膜片上的开孔40A和安装板上的开孔34F(图2)。开孔34F与紧固调节器36对齐以便在装配阶段可对张紧线22的长度进行调节，从而对片簧80A，80B和膜片40预加应力，这种调节是通过将一块垫块(未显示)放在刚性连接机构70上面的连接腔室27内，将另一块垫块(未显示)放在刚性连接机构的下面并使安装环32与其相接完成的。这样就保证张紧线确定在一个正确的长度，然后垫块被移去。

在图1至5中的探针，其针头的长度通常为100mm，其针尖在XY方向上的最大偏移是 $\pm 2\text{mm}$ 。

在Z方向上的测量力可以较多地大于XY方向上的测量力，这样对圆度测量仪上进行形状测量是有利的。

图1中的探针10的针头组件30是连接在膜片40的周边上的，膜片40对中地连接在壳体20上，张紧线22预加应力于片簧80A，80B和膜片40上，使它们处于张力下，因而它们弹性作用在相反的方向拉针头组件30，由此使针头50的静止位置位于相反的力处于平衡的位置上。

上面所述的在相反的力处于平衡的静止位置有一个弹性悬挂的针头50具有很多实际优点。特别是在频率响应方面和探针的精确度和可重复性方面之间的协调经过试验发现较目前的多轴探针为优。

这种有利的协调所以能产生是因为相反的力使针头获得两维稳定和可重复的运动，这种运动是两维(XY)弧形(倾斜)运动模式。弧形运动可以用低惯性的小的可运动部件来完成，从而导致一个改进的频率响应。用一个预加应力的膜片弹簧支持针头固定件在这方面特别有利。

能满足同样设计标准的图1中探针的变更型示意地表示在图6，7

中，其中相同的部件用相同的标号标示。

在图6所示的变更型中，片簧80A，80B以及电枢传动管60C和针头组件30并不是由张紧线22连接，而是由刚性连接件22A（四个连接件如张紧线22一样等距离地间隔开）连接，连接件22A包括作用在球形件（例如支承）22D上的连杆22B、C，球形件又固定地坐落在安装板34的环形凹槽34G内。连杆22C有一条径向凹槽22E以安置支承22D。径向和环形凹槽22E和34G保证了支承22D的准确和自动的位置定位。膜片40仍旧相对于壳体20同心安装，并由安装环32和安装板34将其周边夹紧在针头组件30上。为适应这种形式的刚性连接，膜片40上开有孔40B，通过该孔支承22D能够活动自如而不致侵犯膜片40的活动部分。这个实施例展示出前面述及的弹性悬挂针头组件30，但由片簧80A，80B和膜片40施加压缩力。

图7所示的变更型在片簧80A，B和针头组件30之间的刚性连杆22A方面与图6所示相似。其不同点是膜片40相对于针头组件30同心地安装，针头组件现在包括一个变更型的安装板34（没有安装环32）。这个安装板34有一个中央凸台34H，膜片40安装在其上（与图1实施例的膜片40安装在壳体20中央的方式相似）。膜片40和壳体20的一个悬垂外罩20M之间的连接是位于膜片40的周边上，如图所示。同样地，静止位置是由相反方向作用的弹性位置，即膜片40和片簧80A，B确定的，在这个实施例中弹性装置施加的是压缩力。在图6和图7中片簧80A和80B及膜片40的无应力的位置仍旧由线B，C和D表示。

在另一个未用图显示的安排方式中，膜片40和片簧80A，80B的连接方式如图7所示，但是膜片40朝下和向外伸展，如图6所示。在这种安排方式中，为了从膜片40按正确的方向提供力，膜片的静止位置不是平面的而是圆锥形的，圆锥的角度比在片簧80A，80B作用下所展现的角度还要陡锐。

由上述可知，除了那些所述的利用张紧力或压缩力维持针头的悬置形式外，针头的弹性悬置可以有許多其他不同的方式安排，在针头的悬置形式中针头的静止位置是由相反的弹性偏压装置确定的。同样，将膜片安装到壳体和将膜片装到针头组件上的方式提供了一个可逆的选择，即使用中央安装和使用周边安装。很明显，图 1 实施例的优点也可以由这种变更型的实施例所获得。

图 8 至 13 表示与一个测量仪连用的测量多轴形状或大小的探针第二个实施例，其中探测信号和测量仪信号被用来提供测量工件用的形状测量数据。这种探针 110 包括一个壳体 120，一个针头组件 130，一个用于将针头组件 130（包括一个针头 150）安装在壳体 120 上以使其沿 X，Y，Z 方向移动的弹性膜片 140，和三个安装在壳体 120 上并直接连接在针头组件 130 上的传感器 160（在图 10 中显示），传感器 160 根据针头组件 150 相对于壳体 120 的移动产生电信号。

在针头组件 130 中，针头 150 可卸下地连接在一块安装板 134 上。膜片 140 的周边被夹住在一个安装环 132 和安装板 134 之间。安装板有一个从一块下面板 134B 竖起的周边壁 134A（参看图 11），周边壁支承着一个中间件 134C。在周边上三个等距间隔开的位置，周边壁 134A 支承着容纳连接件 134E 的整体凸台 134D（图 8），连接件 134E 拧入安装环 132 中以便将安装板 134 和安装环 132 连接在一起，从而夹住膜片 140。凸台 134D 从中间件 134C 轴向延伸至周边壁 134A 的顶部。中间件 134C 有开孔 134F 使其能相对于套筒 160G 移动，套筒内装有传感器 160，每一个套筒 160G 都从一个插头 120H 垂挂下来并有一个装有传感器线圈 160A 的心部。这些开孔 134F 是等角度间隔开的。中间件 134C 在其底面带有一块磁铁 134H，磁铁可释放地吸住针头 150。中间件 134C 上还装有接触元件（例如滚柱支承）134J，接触元件固定地安排在等角度间隔开，径向延伸的定位凹槽 134K 内（图 12）。针头 150 包括一个定

位板150A，在这块板上三个等角度间隔开的位置处固定地装有成对的相间隔开的球形件(例如球支承) 150B。一对滚柱球支承的球支承150B之间的间隙(图13)使球支承与安装板134上的滚柱支承134J啮合，以便将针头150与安装板134径向和轴向同时对齐。球支承150B相对于定位板150A是固定的。针头还包括针杆150C和针尖150D。

安装板134的下面板134B上有一个中央圆形凹口134L(图9)，凹口有一个轴向延伸的边134M限定一个开孔以接纳针头150的定位板150A。此外，限定轴向延伸边134P的凹口134N与圆形凹口134L相连通，从而在下面板134B的实体中限定出凸角134Q。凸角134Q在其径向的内端上有边134M。凸角134Q与为传感器用的开孔134F对齐，这些凸角134Q还开有轴向孔134R，用于安装传感器电枢传导管160C(以后将描述)。

安装环132有一个周边延伸的外壁132A和三个等角度间隔开的定位件132B(如图9所示)，其构形必须能通过一个相应的孔132C提供一个杯状形态以容纳一个相应的压缩弹簧180的一端。导向孔132E的凹口132D用于拧入连接件134E，从而将安装板134和安装环132偶合在一起并夹住膜片140。膜片140上有装配孔140M用作连接件134E的通道和传感器孔140B，该孔使传感器能相对于套筒160G移动。一个安装件124用来将针头组件130连接到壳体120上去。安装件124的形状如一根螺栓，它穿过膜片140上的中央孔140C并拧入从壳体120主芯体120C向下延伸的凸台120B中的一个孔120A(图9)中。壳体主芯体120C有一个底面120D，在这个底面上开有传感器腔室120E和定位器孔120F，该孔内容纳压缩弹簧180。再看图8，定位器孔120F内拧入定位调节螺栓120G，用以调节压缩弹簧180的压力。传感器腔室120E内拧入传感器插头120H，插头备有与传感器160相连的线路通道，籍此传感器160的输出信号就能联接到数据收集设备上。传感器套筒160G牢固地连接

在插头120H内的凹口内并支持传感器线圈160A。传感器本身包括一个线圈160A，一个电枢160B，每个电枢都装在一个电枢传导管160C上。电枢传导管160C在相应的孔134R处直接和固定地与安装板134相连。

壳体的主芯体120C还包括一个竖立的凸台120J。凸台有一个中央孔120K，用以容纳一个将探针壳体连接至测量仪上的连接件（未显示）。壳体还包括一块顶板120L封住壳体的内部并还有一个下垂的裙边120M，以引导它进入围绕主芯体的外罩120N内。孔120T用上述连接件螺旋地与顶板连接。外罩120N基本上是圆筒形的，但在安置针头定位器150A的平面处有一个径向向内延伸的凸缘120R（参看图8）。壳罩凸缘120R支承一个环状圆盘120S，该圆盘封闭壳罩的底部。

这个探针110与前一实施例的共同特征在于针头组件130，也即针头150是这样安装的，即针头的静止位置，也就是当针头从任何接触中释放后又回到的位置，是根据膜片140和压缩弹簧180相反方向的力的平衡造成的安装在其上的组件平衡位置所决定的。弹簧180的压缩可以用调节螺栓120G来调节。膜片在不受应力的情况下应当与平面B（图8）对齐，但由于它在中心被安装件124夹持在B平面上，而在其周边又被安装板134和安装环132夹持在另一不同的平面上。因而使其处于预加应力的状态。由于它的挠曲位置产生一个与压缩弹簧180产生的力相反的力，从而确定悬置的安装组件130的平衡位置，这个位置确定了针头的静止位置。随针头150任何位移电枢传导管160C的移动相对于传感器160并不全是直线的。这种非线性成份在校准中可以予以校正。三个传感器的输出信号被校准以获得X，Y和Z的测量值。使用三个而不是四个传感器可以减少传感器信号必须通过的电子通道的数量，因而也减少了相关连的电子设备。

与图1至5的实施例一样，本实施例的针头150利用定位装置（如图12和13所示）可卸下地连接在安装板134上，针头是由磁铁134II吸

住，但也可从这个位置移去或替换。这一特点使针头在XY方向无意中撞到工件时，其位移使安装环 132 接触壳体120，因而针头150就松开。壳面120D和壳体凸缘120R对针头组件 130 的移动形成限制性的阻挡件。当针头重新定位时，具有重现性的针头150易于重新定位。

与第一个实施例类似，本实施例用于形状测量时也具有同样的优点，即在 Z或轴向的方向上测量力要大于在XY平面上所要求的测量力。本实施例特别有利于在圆度测量仪上用于工具的形状测量。

这种探针110与图1至5中的探针10的区别点在于传感器160的位置和针头组件的设计(特别是安装板134和安装环132)减少了移动部件的数量，并且把这些移动部件的重心移到靠近针头组件的静止位置。它也允许增加Z方向的行程，因为膜片140是向下预加应力的，对超越行程的危害提供了更大的保护。

两种实施例都提供了紧凑的设计型式，有利于将探针 110 沿复杂的工件外形使用，并在精确度，再现性和频率响应两个方面之间有一个很好的协调。

结合在图1至5和图8至10的实施例的探针10，110中另一个特点是缓冲针头运动的装置。在第一个实施例中可以用一种粘性物质施加在连接机构70和毗邻的连接腔室壁27D之间作为针头组件的缓冲装置27F。

同样情况，在第二个实施例中可以用一种粘性物质施加在安装环132和套筒160G(用于传感器线圈 160A)之间作为针头组件的缓冲装置132F，如图8，10所示。作为例子，缓冲装置27F和132F可以通过填充一种粘性物质，如硅酮润滑脂来提供。

试验证明在探针中加入缓冲装置 27F和132F可以扩大它在测量仪器上的应用。缓冲装置有下述优点：

1) 在仪器来回移动过程中当针头与工件脱离接触时，它可以大大地减少不必要的针头移动和振动；

2) 当检测一个表面时, 它可以减小针头振动的影响;

3) 在针头偏移后。它可以允许针头在很短的时间之内回复到稳定的静止位置。

除了提供粘性物质之外, 也可以用多种不同方式提供另外的缓冲装置。此外, 不同的探针用途可以要求不同的缓冲率。例如, 一个用于圆度测量仪器上的探针可能要求一个比用于坐标测量仪器的探针低的缓冲率。

本发明的第三个实施例表示在图14, 15和16中。这个实施例结合了一些第一和第二实施例中较优的特点。

在第三个实施例中有四个传感器 200, 图16中表示的很清楚。这使传感器直接对面成对的排列, 这样可以较大程度地免受探针内局部膨胀的影响。当得到四个传感器信号时, 校准和测量数字函数可以应用, 在其中来自对面的两对传感器的信号大大地被减除, 以推断出探针的位移。以这种方式, 所有传感器共有的输出信号的任何偏移都被抵消, 因此提高了测量的稳定性。图15是沿图16中XV—XV线截取的探针剖面图, 因此显示了两个传感器200的剖面。图14是沿图 16中 XIV—XIV线截取的探针剖面图, 但没有显示传感器200。

探针包括一个带有一个圆筒形罩204的主体202, 和一个移动的针头固定件, 该固定件主要包括一块安装板206和一个安装环208, 膜片弹簧210的周边夹在它们中间。安装板206和安装环208由螺栓212固定在一起。

代替图8实施例中使用的压缩弹簧, 膜片210的预加载是由一个平的预载弹簧214来提供的, 预载弹簧将线216拉紧, 线穿过安装环 208并用一种简便的方法, 例如焊接固定在其上。线216穿过膜片210上相应的间隙孔。线216穿过安装环208进入主体202内的孔218, 一种粘性物质可以放在孔218内以缓冲针头的移动。

预载弹簧214有四个从中央区径向延伸的肢状部(参看图16)。膜片弹簧210和预载弹簧214由一个紧固螺栓220在它们的中心将它们夹紧在主体202上,螺栓220由一个在主体202后端的螺母222固定。预载弹簧214的中心放在膜片210的中心下面,并由一个间隔垫224将它们隔开。膜片210和预载弹簧214在未加应力时都是平面的。因此,在如图14和15中所示的膜片210加应力后趋向于将针头固定件朝着主体202向上移动,而加载弹簧214通过线216的张力作用在针头固定件上,趋向于将其向下推动,脱离主体202。

正确的预载力可以在线216连接到安装环208时用适当的工具予以设定。这样就避免了如在图8和9中设置预载调整装置的需要。由于线216是牢固地固定在预载弹簧214和安装环208上并处于张紧状态,因此本实施例的预载安排提供了更好的稳定性,并避免了图8和9中安排的压缩弹簧180可能出现的侧向移动,图8和图9中每个弹簧的至少一个端必须能自由移动,以便对其作预载调整。

如图15中所示,四个传感器线圈200配置在主体202内的套筒226内。套筒226突出于主体202的底面之外并且穿过膜片弹簧210的间隙孔。正好图16中可以看到,四个传感器线圈200和套筒226从预载弹簧214的四个臂偏移了45°。套筒226,传感器200和间隙孔在膜片210上的安排与图8和9实施例中相应部件的安排是相似的。每个传感器的电枢228由相应的杆230牢固地固定在安装板206的背面。

一个挠性的环形密封圈231配置在可移动的针头固定件的安装板206和圆筒形罩204开口之间,以防止异物的进入。

针头未在图14和15中显示。它安装到安装板206上的安排除了如图14和15所示的安装板206上装有精密珠232之外,基本上与图12和图13中所示的相同。在先前的实施例中,针头是由一块磁铁234的吸力固定在其位置上的。

图14到16的实施例可以有各种不同的变更型式。例如，虽然预载弹簧 214通常需要有至少三个工作支臂才能合适地确定针头的平衡静止位置，但传感器的个数和预载弹簧 214的工作支臂的个数可以变化。通常，这些支臂是等距离间隔开的以提供一个均匀的测量力特性。利用穿过安装环208的线216的自由端作为缓冲装置是方便和经济的，但是其他缓冲布置也可以采用。

图14至16所示的膜片弹簧210和预载弹簧214的布置已被选用，以使探针结构紧凑。其他的布置也是可能的，例如：

- 1) 将针头固定件夹在膜片弹簧210的中心,并将主体202夹在其周边上;
- 2) 将预载弹簧 214安装成为这样，即径向支臂在径向外端处被夹住在主体202上，并径向地朝着中心向内伸展;
- 3) 将预载弹簧214安装成使它向上施加应力于膜片210上而不是向下;
- 4) 将连接在线216上的轴向定向的拉力弹簧替换预载弹簧214，并支持在主体202或圆筒形罩204的一个部件上;
- 5) 将膜片弹簧210和预载弹簧214的作用合并在一个单一的部件上。

将膜片和预载弹簧的作用合并在一个部件上的一种可能的安排如图17和18所示。图17显示一个合并的弹簧 236的形状。这个形状基本上与图14至16实施例中膜片弹簧210的形状相同，除了其上通过U型切口形成的径向延伸的臂238之外。图18是使用图17所示的合并弹簧236的一种安排的示意侧视图。弹簧236的中心由紧固螺栓220连接到主体202上，臂238连接在线216上并提供图14至16中预载弹簧214的功能。合并弹簧236的其余部分提供膜片弹簧210的功能，其周边被夹在安装板206和安装环208之间。

对于熟悉本行业技术的人都知道其他的各种变更形式也是可能的。例如，在所有图解的实施例中至少有一个弹簧具有膜片的形状。虽然一般都喜欢用这种安排方式但并不是必须要这样。在一种可选择的安排中，膜片形状的弹簧可以用一种其中央区域连接在一个部件上并且径向延伸的指状部连接在另一个部件上的弹簧代替。或者，一种基本上是盘形的弹簧可以分成多个从一个中央区域延伸的径向臂，各个相同的径向臂可以连接在不同的部件上，而其中央区域则完全不受制约。一种与图18中所示的合并弹簧 236 类似操作的合并弹簧配置有多个从一个中央区延伸的臂，中央区紧固在探针的主体上，而每个臂的最外端紧固在针头固定件上，但是相间臂以不同的高度与针头固定件相连，使一些臂朝上偏移而一些臂朝下偏移，形成一种与图18中的安排相类似的作用。而且，也并不是一定要用片状的弹簧。例如，有一种安排形式，其中一些弹性装置是张紧的螺旋弹簧。

根据在本文中叙述的，图 8 至13 的实施例将传感器 / 变换器的个数从四个减为三个，对熟悉本专业技术的人都会明了图1 至5 实施例也可以加以变更使之装有三个传感器 / 变换器。

这些实施例中膜片在装配前都是盘状平面状态(未受应力) ，而当预加应力时它就成了一个圆锥状的构形。可能的变更形式是将膜片预先制成非平面形状，然后将其预加应力使其成为另一种不同形状。

在每一个实施例中，膜片(40, 140, 210) 都是厚度均匀的圆盘形状，并且是由经过完全硬化的铍铜合金制成。在每种情况下，膜片的构形都是使其在中心与主壳体相连接，在其周边与针头组件相连接(所提到的这些内容也可以倒过来安排) 。

在圆形膜片的周边内也提供了探针的其他机械性能。在第一个实施例中，如图 2 所示，膜片40 上有供张紧线22 通过将连接机构70 连接到安装板34 上的孔40A 和用于装配目的的开孔40E。在第二个实施例中，

如图9所示，膜片140除了供装配用的开孔140M以外还有供带有传感器线圈160A的套筒134G通过的开孔140B。在第一和第二实施例中，膜片的厚度分别为0.003英寸(约0.08mm)和0.005英寸(约0.13mm)。厚度的选定需在给出所要求的膜片的大小和针头臂长度，以及探针机构的其他部件的特性后，可以获得针尖在XY方向上的合适的测量刚度。对这两种探针当使用一个100mm的针头时，一个标准的在XY方向上的测量刚度是每mm位移100mN。在所用的较小活动范围内，不管位移和方向这一刚度基本上是不变的。

对于第一个实施例(图2)，Z轴测量刚度主要由膜片本身的厚度和设计型式决定。对于第二个实施例(图9)，Z轴测量刚度主要是偏压装置(也就是压缩弹簧的性质及其安排)的函数。

当该探针用于一个圆度测量仪时，Z方向上的测量刚度最好是大于XY方向上的测量刚度一个数量级，更好的情况是两个数量级。

特别适合于制造膜片的铍铜合金的特性包括下述几个方面：

- 1) 在弹性限度内它比其他的对比材料允许更大的偏移；
- 2) 它有一个高的疲劳极限，也就是它能在整个长的设计寿命内维持它的弹性；
- 3) 它实际上不呈现弹性滞后现象。

在探针的图解实施例中，它的活动部件具有较低的质量，而这个质量大部分情况下只离开针头弧形运动的中心一个短的距离。这对针尖的移动造成较低的移动部件惯性，以获得一个良好的频率响应而没有过份的测量力。例如，对图1至5的实施例中用一个0.01N的测量力(XY)在一个100mm针头的针尖上1mm的位移，所获得的固有频率大约为50Hz。

使用相对的回弹力确定针头的一个平衡静止位置增强了针头移动的重复性和稳固性，有助于用探针实现精确的测量。用预加应力使其

成圆锥形的膜片(如图所示的实施例所示) 来支持针头或针头固定件是特别有价值的。该膜片提供了一个简单, 重量轻和价廉的支持针头或针头固定件的方法, 为针头的弧形移动提供了一个枢轴并且提供了一定的测量刚度。对膜片的预加应力稳定了它作为枢轴的性能, 为此原因, 探针的操作范围最好是限定的, 使膜片在它操作范围内不会经过它的未预加应力的位置。这一操作范围的限制可能会在探针的结构中反映出来。例如, 传感器可能会在膜片到达它未加应力的位置前超出范围。

所述实施例的另一个重要的特征是针头和探针体之间所有的连接都是挠性的。通过避免滑动接触和使平面邻接(除了对挠性连接件的连接邻接), 提高了针头移动的重复性。然而, 针头的弧形(倾斜的) 移动与一些现有技术装置的平移移动相反, 趋向于使探针的校准对精确的测量结果是重要的。

参看图19和20, 下面将对校准测量探针10的仪器和方法加以叙述(例如, 参考图1的说明), 这种校准是用探针分别在X和Y轴方向上的位移表示成校正的XY轴测量信号输出。如图1所示, 一个测量探针10的针头50相对于探针壳体20的安装允许针头50的二维位移。传感器60对针头的移动做出反应从而输出与所述针头位移相关的传感器信号。这里所描述的校准使得正确的测量信号输出从所述传感器信号中导出。

参看图19, 探针10的校准首先将探针10安置在一个相对于一个转盘装置250的预定位置上以便使针头56(在其操作范围内) 沿着一条限定的圆形路径移动。探针10的Z轴线是用一个其上装有探针10的测量仪的探针装载臂252与转盘装置250的旋转轴线254对齐确定的。

转盘装置250上带有一个滑块装置256, 其上装有一个导引装置258, 导引装置258的径向位置可以递增地相对于轴线254移动。导引装置258接触探针10的针尖56。导引装置258的径向位移促使针作相对

于旋转轴线254的径向位移。当转盘装置250旋转时，它带动导引装置258，以及针尖58在一个圆形路线上。

为校准探针10，转动转盘装置250使针尖以间断的行程沿着一条圆形路线移动，相当于转盘250的一个给定的角度运动 θ 。测量仪收集每个传感器60（图1）对针头50的一系列测量位置中的每一个发出的传感器输出信号作为传感器数据。测量位置是由转盘装置250的间断行程所确定的。

位置数据也被搜集，给出针头50每一测量位置的测量位置数据。这个位置数据的收集与针头输出信号无关。它可以针尖56的旋转半径 R 和间断的角度运动 θ ，也可以从转盘250的位置（例如由一个角度编码器）和导引装置258的位置来确定。

如前所叙述的，收集探头（传感器）数据和位置数据的间断测量位置是由转盘装置250的间断角度运动确定的。可以意识到转盘装置250的角度运动可以是连续性的（在一段给定的圆形路线上），并且测量位置可以以收集传感器信号和角度编码器信号的间断位置来确定。

然后，数据处理装置400（参看图20）在传感器数据和位置数据之间进行换算，以便获得用于校正测量信号的校准参数。接着，数据处理装置400将这些校准参数以这样的方式贮存，即在随后的测量操作过程中，传感器输出信号被处理以产生校正的测量信号。

在这个意义上，位置数据是由测量所述导引装置258的径向位移（ R ）和转盘装置250的角度位置 θ 而获得的，即，测量位置的XY坐标是由表达式 $X=R \cdot \sin \theta$ 和 $Y=R \cdot \cos \theta$ 得出的。

为了获得用于校准的足够的数据，导引装置258由转盘250旋转顺序地经过第一系列的测量位置（ $R \cdot \theta$ ），每一个位置都在离开旋转轴心254一个第一径向间隔 R 的地方。然后，导引装置258径向地移动，并旋转经过第二系列的测量位置，就这样继续依次进行一系列的径向

位移。

导引装置 258 的径向位移是在一系列径向位置的范围内进行的。所以，一个极端位置由导引装置 258 的一个径向内部位置所限定，这个位置离旋转轴心 254 有一个足够的间隔，以允许导引装置 258 将针尖 56 在一个旋转路线内移动同时与其维持恒定接触。如果半径 R 太小的话，导引装置 258 可能会在一些角度位置与针尖 56 脱离接触。另一个极端位置是一个径向朝外位置，这个位置不超越针头 50 预定的测量范围；作为例子，对这个探针 10 而言，用 100 mm 的针头长度，这个范围由 2 mm 的旋转半径决定。角度位移是每隔 30° 的规则位移。在这个实施例中，导引装置 258 的径向位移从径向内部极端开始逐渐朝着探针测量范围的径向外部极端方向推进。

一个探针可能会有一个由半径为 X mm 决定的预定测量范围。在这个意义上，导引装置可能以连续的 X/N mm 的间距逐渐地径向向外移动，其中 N 是一个大于 2 和小于按实际需要而选定的任意数的整数，例如 7。在这个实施例中， N 被选定为 4，也就是，连续的间隔距离为 0.5 mm。

由数据处理装置 400 完成的换算可以用于带有多传感器的探针。当探针有多个传感器，其传感器输出信号为 $t_1, \dots, t_n$ 时，对每个测量位置的 XY 坐标数值将从位置数据中导出，并用来为表达 $X = f_1(t_1, \dots, t_n)$ 和 $Y = f_2(t_1, \dots, t_n)$ 得出校准参数，其中函数 f_1, f_2 中包含校准参数。

探针 10 具有在一个方向上相间隔开的传感器 60，其传感器输出信号为 X_1, X_2 ，和在一个横向方向上相间隔开的传感器，其传感器输出信号为 Y_1, Y_2 。对每一个测量位置的 X, Y 坐标的数值是从位置数据中得出的并用于换算步骤，以得出为表达式 $X = f_1(X_1, X_2, Y_1, Y_2)$ 和 $Y = f_2(Y_1, Y_2, X_1, X_2)$ 的校准参数，其中 f_1, f_2 中含有校准参数。

对于 X, Y 坐标，表达式 f_1, f_2 ，每一个都是以从传感器输出信号

得出的第一测量表达式和第二校正表达式的乘积中计算出来的，第一测量表达式与测量轴相关连，而第二校正表达式与垂直于测量轴的轴相关连，以便校正传感器数据中的变差。

在这实施例中，对于 X 坐标的测量，测量表达式由 $(A_1 \cdot X_1 + A_2 \cdot X_2 + B_1 \cdot X_1^2 + B_2 \cdot X_2^2 + C_1)$ 决定，其中 A_1, A_2, B_1, B_2 和 C_1 是校准参数，被乘以校正表达式 $(D_1 \cdot Y_1 + D_2 \cdot Y_2 + E_1 \cdot Y_1^2 + E_2 \cdot Y_2^2 + G_1)$ ，其中 D_1, D_2, E_1, E_2 和 G_1 是校准参数。同样情况，对于 Y 坐标的测量，测量表达式由 $(A_3 \cdot Y_1 + A_4 \cdot Y_2 + B_3 \cdot Y_1^2 + B_4 \cdot Y_2^2 + C_2)$ 决定，其中 A_3, A_4, B_3, B_4 和 C_2 是校准参数，并乘以校正表达式 $(D_3 \cdot X_1 + D_4 \cdot X_2 + E_3 \cdot X_1^2 + E_4 \cdot X_2^2 + G_2)$ ，其中 D_3, D_4, E_3, E_4 和 G_2 是校准参数。

在这个实施例中，换算也校正位置数据，以建立探针 50 相对于旋转轴 254 的位置误差。如上所述，这些误差用于对偏心作的校准参数 C_1 和 C_2 ，和径向距离 R 中的 dR_1, dR_2 以及角度位移 θ 中的 $d\theta_1, d\theta_2$ 表达。通过在表达式 $X = (R + dR_1) \cdot \sin(\theta + d\theta_1)$ 和 $Y = (R + dR_2) \cdot \cos(\theta + d\theta_2)$ 中确定 dR_1, dR_2 和 $d\theta_1, d\theta_2$ 的值，产生的误差也被校正。

对于这些偏移参数的解释如下：首先，当探针静止位置与转盘装置 250 的旋转轴 254 对齐时，实际上针尖相对于旋转轴被偏心安排，校准参数 C_1, C_2 在函数 f_1 和 f_2 中对此进行校正。更加精确地说，由于测量表达式乘以校正表达式，偏心就由乘积 $C_1 \cdot G_1$ 和 $C_2 \cdot G_2$ 计算出。然而， G_1 和 G_2 的数值接近于 1，换句话说，因为它们将改变测量表达式的所得，因此， C_1 和 C_2 的值提供了有效的偏心校正。

其次，（由于这个偏心）为了使导引装置旋转同时保持与针尖恒定的接触，就必须从额定的静止位置作出一微小的径向偏离。这个偏离导致针尖旋转半径对转盘的初始运动的 dR 。由于没有基准点可以遵

循(也就是说没有绝对的静止位置) , 测量就从这个初始径向偏离 (即在这个径向偏离处, R 被取作零) 开始。为了进行换算, 必须分析所有的数据以确定 dR 。这就能够校准, 将位置数据调整到以针头静止位置为极点的纯极坐标上。在实际操作中, 由于进行了两个独立的换算, 对于每一个轴中的一个, 对 dR 使用两个参数是方便的, 即 dR_1 和 dR_2 , 这两个参数是单独决定的。比较 dR_1 和 dR_2 的值, 就可得到严格校准的正确读数或值, 因为实际上只有一个误差 dR , 与轴无关。对于为这种探针作的高质量校准, 推断出的 dR_1 和 dR_2 值一般相差不会超过0.5微米(μm) 。

第三, 还有角度偏差 $d\theta$ 。这个偏差的出现是因为探针传感器的配置可能会使这些传感器 和转盘相联系的 X, Y 坐标的轴没有对齐 (例如, 由测量 θ 的编码器限定) 。因此, 在探针传感器 X_1 , 和 X_2 , 和 Y_1 和 Y_2 间隔开的方向和转盘 / 编码器理论上的 X, Y 轴之间可能会有一个角偏差(由此有位置数据) 。此外, 探针传感器 X_1 和 X_2 间隔开的方向和探针传感器 Y_1, Y_2 间隔开的方向可能并不是真正的 90° 的间隔。通过对 X, Y 轴分别决定偏差参数 $d\theta_1, d\theta_2$, 该换算避免了这种误差。偏差参数 $d\theta_1, d\theta_2$ 之间的不同与变换器相对于 90° 间隔的位置有关。

径向和角偏差参数 $dR_1, dR_2, d\theta_1$ 和 $d\theta_2$ 没有出现在 X, Y 的表达式内。这些参数用在校准工作中, 但是一旦参数 A_1 至 G_2 已推断出和贮存后, 它们的数值就不需要了。

在这个优选的实施例中, 为 X 的校准参数是在许多步骤中获得的, 然后为 Y 的校准参数在另一分开的许多步骤中获得的。

通过操纵实际的位置数据和传感器数据, 同时使其他的所述校准参数保持不变, 在为 X (或 Y) 所作的换算步骤中进行一些校准参数的计算被认为是有益的。然后逐次变换计算, 而校准参数仍保持不变,

一直等到所有的校准参数都从位置和传感器数据中确定出来为止。

下面将对校准程序作较详细的说明。

在探针的每一个测量位置，对传感器输出 X_1 ， X_2 ， Y_1 和 Y_2 ，和位置数据 R 和 θ 可获得许多数值。因此，对第 i 次测量位置，数值 $X_1(i)$ ， $X_2(i)$ ， $Y_1(i)$ ， $Y_2(i)$ ， $R(i)$ 和 $\theta(i)$ 获得后被贮存。对这一测量位置，限定探针实际位置的 X 和 Y 的正确数值由下式给出：

$$X(i) = [R(i) + dR_1] \cdot \sin[\theta(i) + d\theta_1] \text{ 和}$$

$$Y(i) = [R(i) + dR_2] \cdot \cos[\theta(i) + d\theta_2]$$

对 X 和 Y 的测量表达式和校正表达式的任何一个都是多项式，其系数是校准参数。确定多项式的系数值使多项式符合于实验数据的各种手段是已知的，在本实施例中，高斯牛顿法最为适用。关于更多的资料请参看 Gill P. E, Murray W. 和 Wright M. H. 所著的“Practical Optimisation” Academic Press, London, 1981。

X 和 Y 轴是用相同的方法单独设立的。因此，只需叙述对 X 轴的方法。使用在各个测量位置上获得的数据，对每一个第 i 个测量点可以获得下列表达式：

$$\text{误差}(i) = [R(i) + dR_1] \cdot \sin[\theta(i) + d\theta_1] - f_1[X_1(i), X_2(i), Y_1(i), Y_2(i)],$$

其中 $f_1 = (X \text{ 的测量表达式}) \cdot (X \text{ 的校正表达式})$ 。

这可以解释为：

$$\text{误差}(i) = \text{实际位置}(i) - \text{测量得到的位置}(i)。$$

在校准计算开始之前，在函数 f_1 中的校准参数 dR_1 ， $d\theta_1$ 和 A_1 至 G_1 都调整至其初始数值。如果一个已经校准的探针被再校准，将初始数值设定为先前获得的校准参数数值是有利的。否则，使用欠缺值(default values)。对 A_1 ， A_2 和 G_1 该欠缺值是“1”，对所有其它参数该欠缺值是零。

很明显在这一阶段，对数据点“ i ”的“误差”值是大的并且反映探针的不希望有的特征，这个校准操作将被除去。将所有数据点考虑进去，现在用“高斯牛顿”法来试图确定校准参数的数值。使所有“误差”数值减至最低值。但是，由于大量的校准参数需要确定，这样做通常会造成不稳定的结果。因此这些参数是由下列步骤确定的。

- 步骤 1 将校正表达式内的参数保持不变并使用“高斯牛顿”法进行配合，调整 dR_i ， $d\theta_i$ 和在测量表达式内的参数，从而将“误差”值减至最小。
- 步骤 2 将 dR_i ， $d\theta_i$ 和测量表达式内的参数保持不变并使用“高斯牛顿”法调整校正表达式内的参数，从而将“误差”值减至最小。
- 步骤 3 重复步骤1和2一直等到“误差”值不再减小，该试配就完成了。

这个过程一经完成后，剩下的“误差”值就是剩余误差。

剩余误差的范围表示出整个两维的针头移动范围内所涉及的轴的精度(或线性误差)。可以注意到，有很多种图解表示法可以用来说明在校准数据范围内剩余误差的性质。

剩余误差反映出校准数据的特性，这是不能用数学方法调准的。剩余误差可能是由各种不同的原因引起的，例如：

i) 随机的环境影响，例如机械振动，电机噪音，针尖上的异物或温度的改变。

ii) 探针和/或校准装置由于制造的不同或缺陷而造成的结果。

iii) 探针设计的特点不能通过校准函数用数学式表达。

第(iii)种原因引起的剩余误差可以通过变化校准函数来减少，例如包括 X_1 ， X_2 ， Y_1 ， Y_2 的三次或更高次幂，但这样就带来在校准时和以后运用探针时大量增加计算工作的缺点。

再回过头来看图19，该设备本身可以包括一个形状测量仪（例如以前述及的 TALYROND 300），还包括导引装置258和数据处理装置 400（图20）。

滑块装置256有一个利用人工调节的驱动器在一个滑座262上可移动的滑板260，驱动器包括一个微米调节器264，微米调节器相对于一个固定件266是可转动的，从而将轴268移动至一个初始位置（前面说的内部极端）。滑块装置256随后的位置由可拆下的插块270（图中显示其中之一）来决定，插块的插入增加了导引装置 258（和接触的针尖56）相对于转盘250的旋转轴心254的旋转半径。插块 270（本身已知）是多个精密块规，用来顺序地增加半径R，例如每次增加500微米（如前所述）。

测量仪未进行完整的描述，探针的装载臂252示意性地与转盘250和一个带关联传感器的角度编码器 272表示在一起，该传感器使信号输入数据处理装置400，指示出转盘250在测量位置之间做出的角度增量。

导引装置 258在图19内另有一插入的平面图，它包括一个适合于支撑在转盘 250上（例如利用一个滑块装置256）的主体276，和一对由连结装置 280固定在其上的支柱278。连结装置280可以由可凝结的粘接剂形成。支柱 278可以是一对精密制造的支柱支承。它们被间隔安排以便在其间以活动与此接触的方式接纳探针10的针尖56。

转盘250旋转使导引装置258绕着一个圆形路线移动，并同时旋转它所面朝的方向。因此，对所有的 θ 值，导引装置牢牢地夹持着针尖56离开其静止位置。在这种方法中，针头50在校准期间绕着其静止位置移动至少 180° （实际上 360° ）而不会脱离与导引装置的接触。这在一些现有技术校准体系中是很难办到的，因为现有技术中的导引装置并不是在所有的角度都是将针尖牢牢地夹持住的。导引装置 258的

移动使针头50在校准期间以它在测量操作期间移动的同样方式在XY平面上移动。(虽然移动的方式可能不同,因为针尖56一般以滑动接触通过一个工件,但它不通过导引装置258)。

再看图20,这里以方块图的方式描述了与形状测量仪相连的数据处理装置400。在校准期间,每一测量位置的位置数据(R, θ)被输入。旋转角 θ 从角度编码器400输入。测量的旋转半径 R 可以经由键盘402输入,即,初始输入仍定为零(并在校准中校正),随后的输入就是由插块270确定的在这半径上逐渐增加的增量。另一种方式,如果转盘对其 X, Y 渐增的位置变化有其自己的定心机构,那么半径 R 的渐增变化(例如0.5mm)可以直接从定心机构402'输入。为获得传感器数据403,需读出每一个测量位置的传感器信号 X_1, X_2, Y_1, Y_2 , (或 $t_1, t_2, t_3 \dots$)。如上所述,传感器60产生模拟传感器信号,这些信号根据数据处理装置400经数字化和换算,以用作输入信号403。

数据处理装置400从一个贮存器得到输入信号,该贮存器对特定的探针结构储存探测数据转换函数 f_1 和 f_2 (没有校准参数数值的“空白”形式);探针特性在键盘404输入。一个贮存装置406携带一个校准程序,该程序执行位置数据和探测数据的换算,计算出校准参数的数值。数据处理装置400将校准参数输出到贮存器407,该贮存器贮存校准表达式,其中包括那些用于探针测量操作的校准参数数值。测量程序贮存在贮存器408内。一旦探针被校准,测量操作就开始,数据处理装置400就在贮存在贮存器408中的测量程序的控制下操作以输出校正的测量信号409。这些信号409是从贮存在贮存器407内的函数,表达式和参数值根据在403'的测量输入作为探测数据计算 X, Y 坐标而获得的。贮存器405,406和贮存器407,408在图中有虚线相连,这是用符号表示贮存在405,407的函数,表达式和参数可以贮存在贮存器406,408的相应程序中。可以了解到,数据处理装置400可以配合一

个模数单元，从而当不同的探针使用时，存储器404至408可以互相替换。

同样情况，可以了解到，校准参数，可能连同测量程序一起，贮存在一个可移动的介体内以传送给一个使用者的测量仪内。或者，也可以从用于校准的测量仪将数据传送给用该探针作测量用的测量仪。

说明书附图

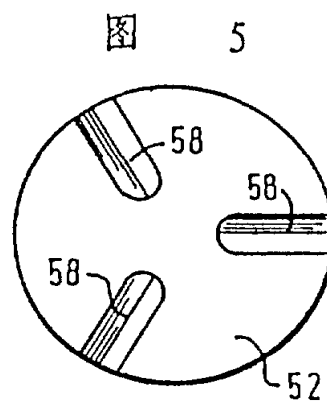
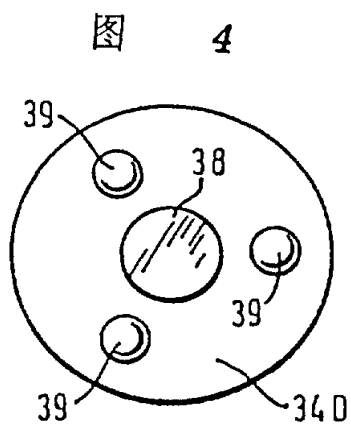
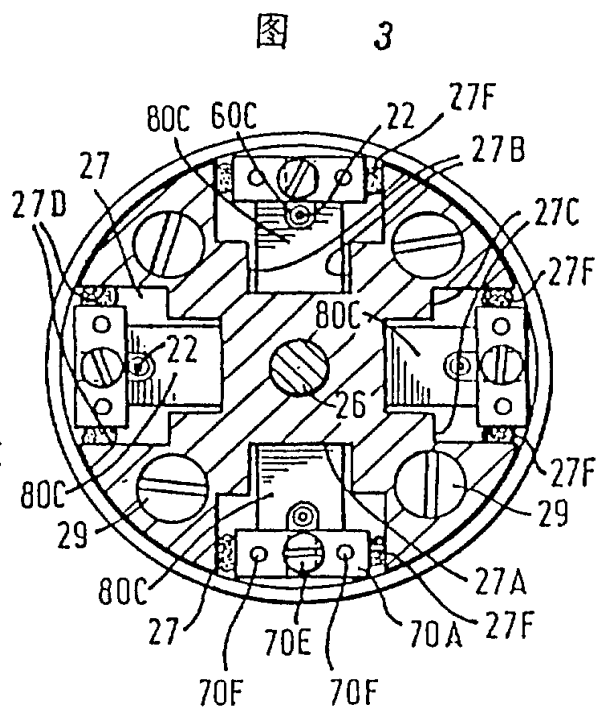
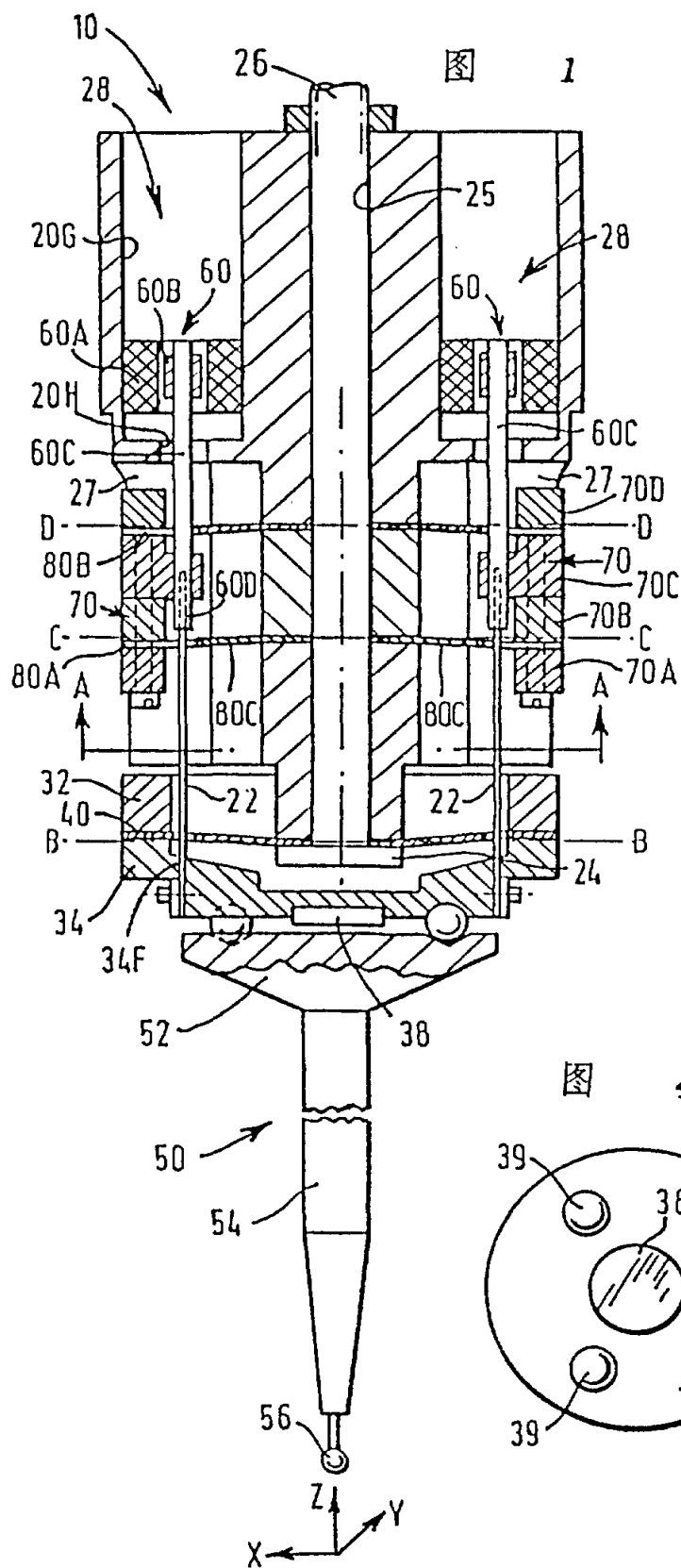


图 2 A

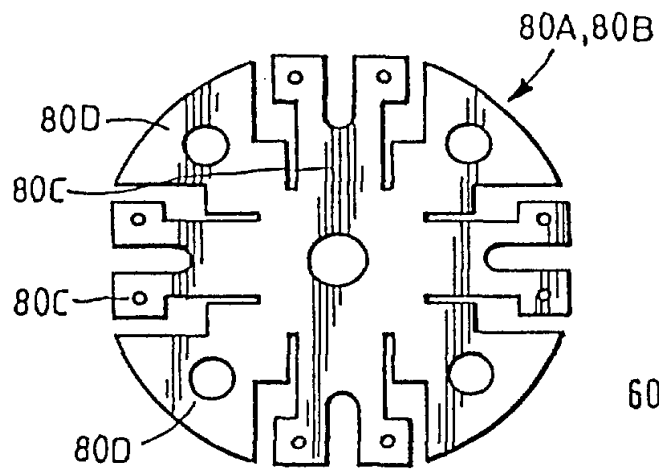
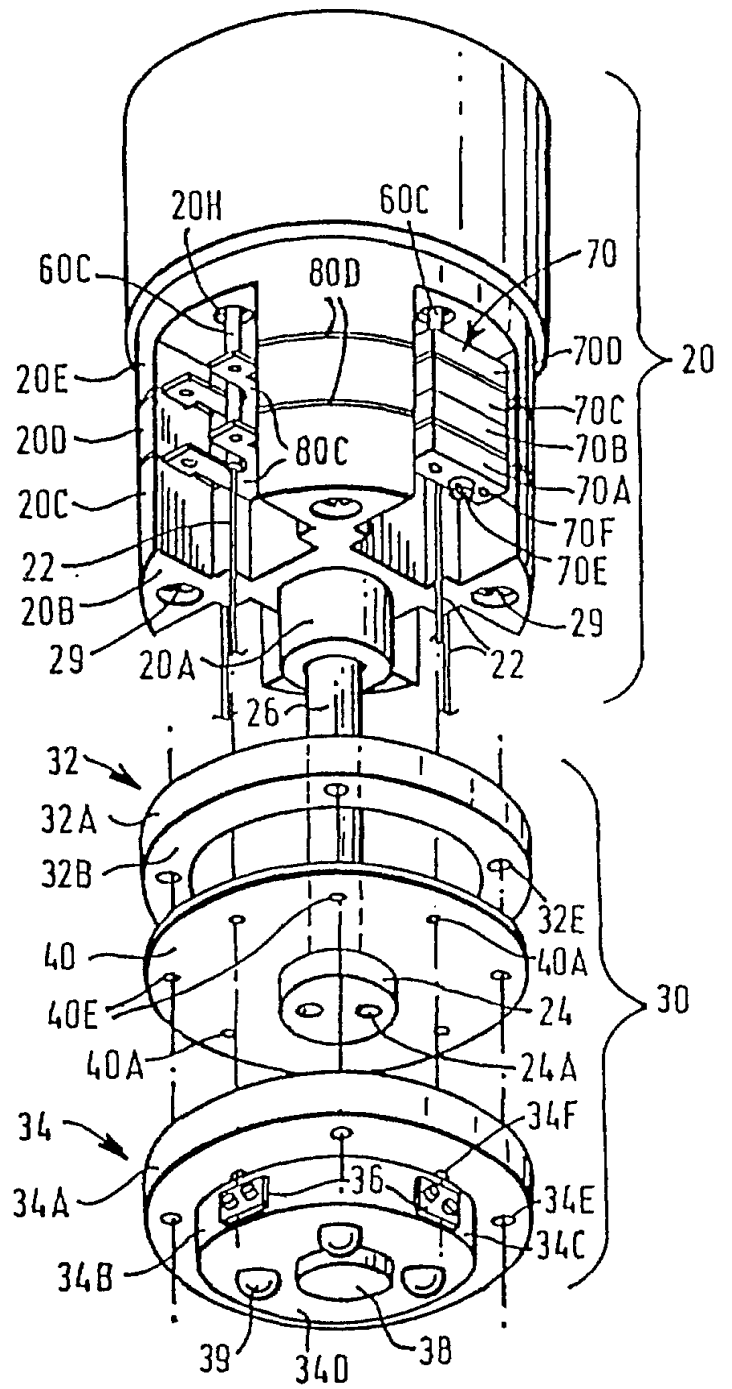


图 2 B



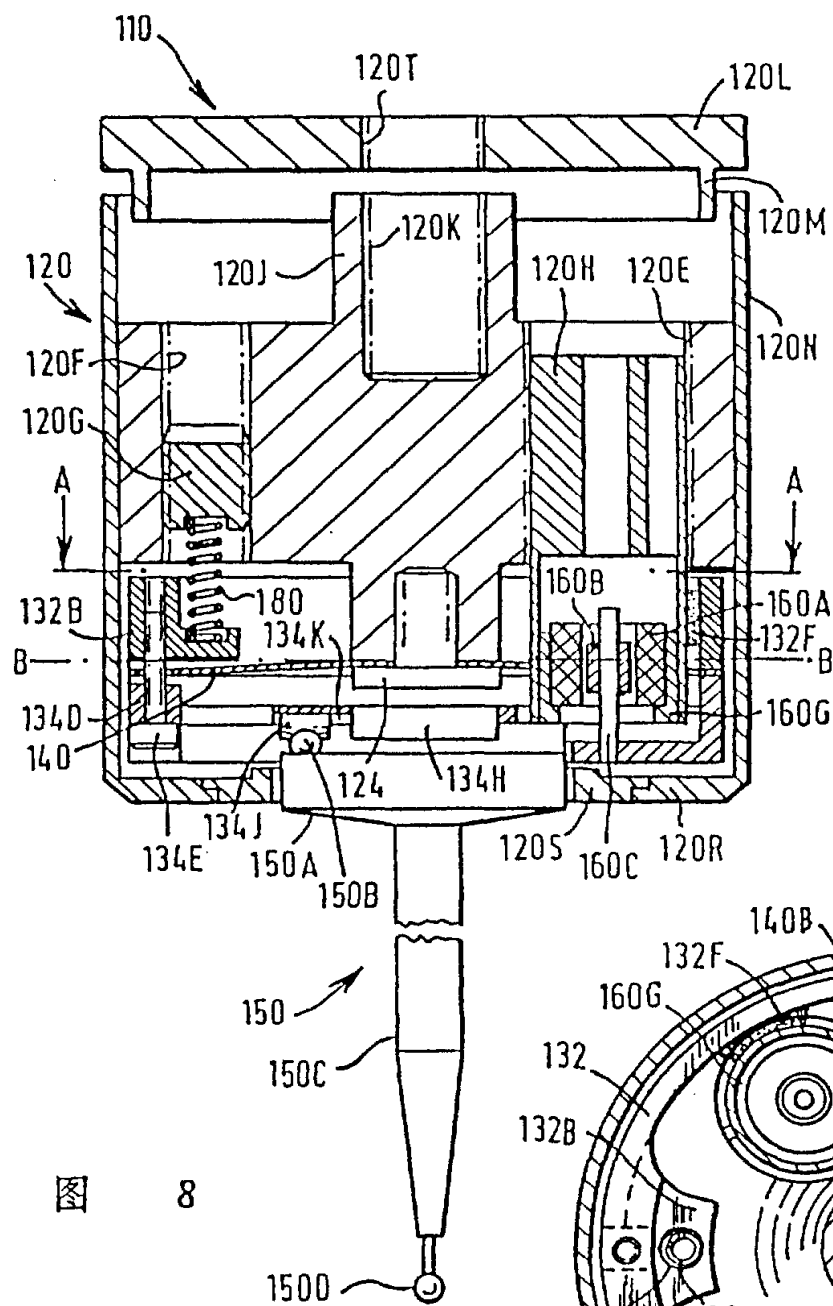


图 8

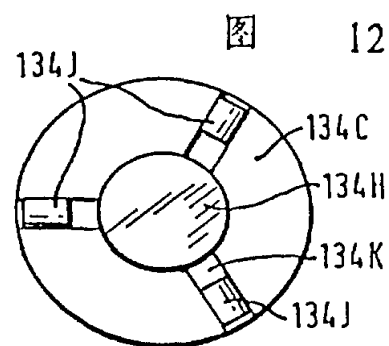


图 12

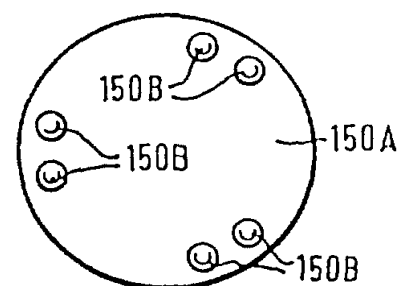


图 13

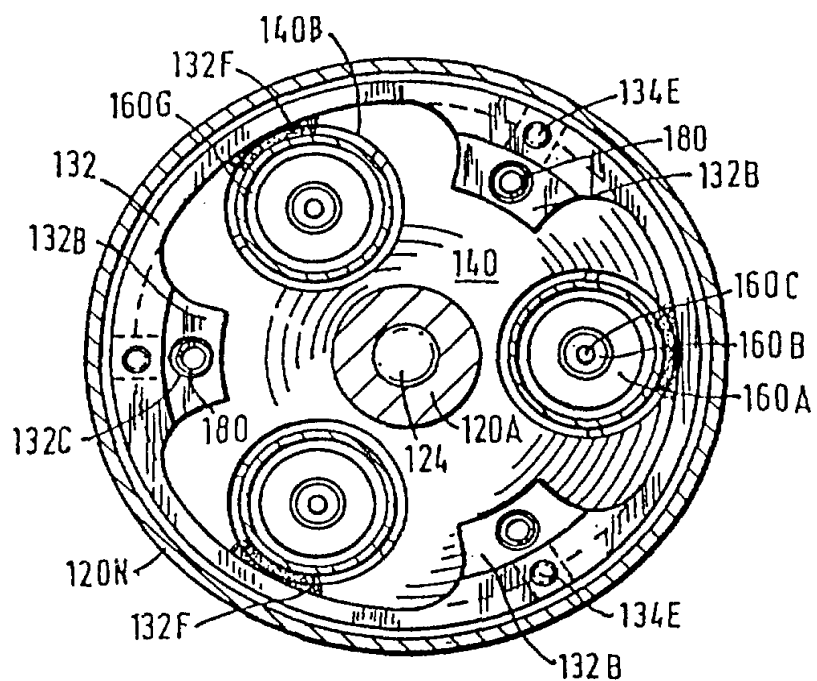
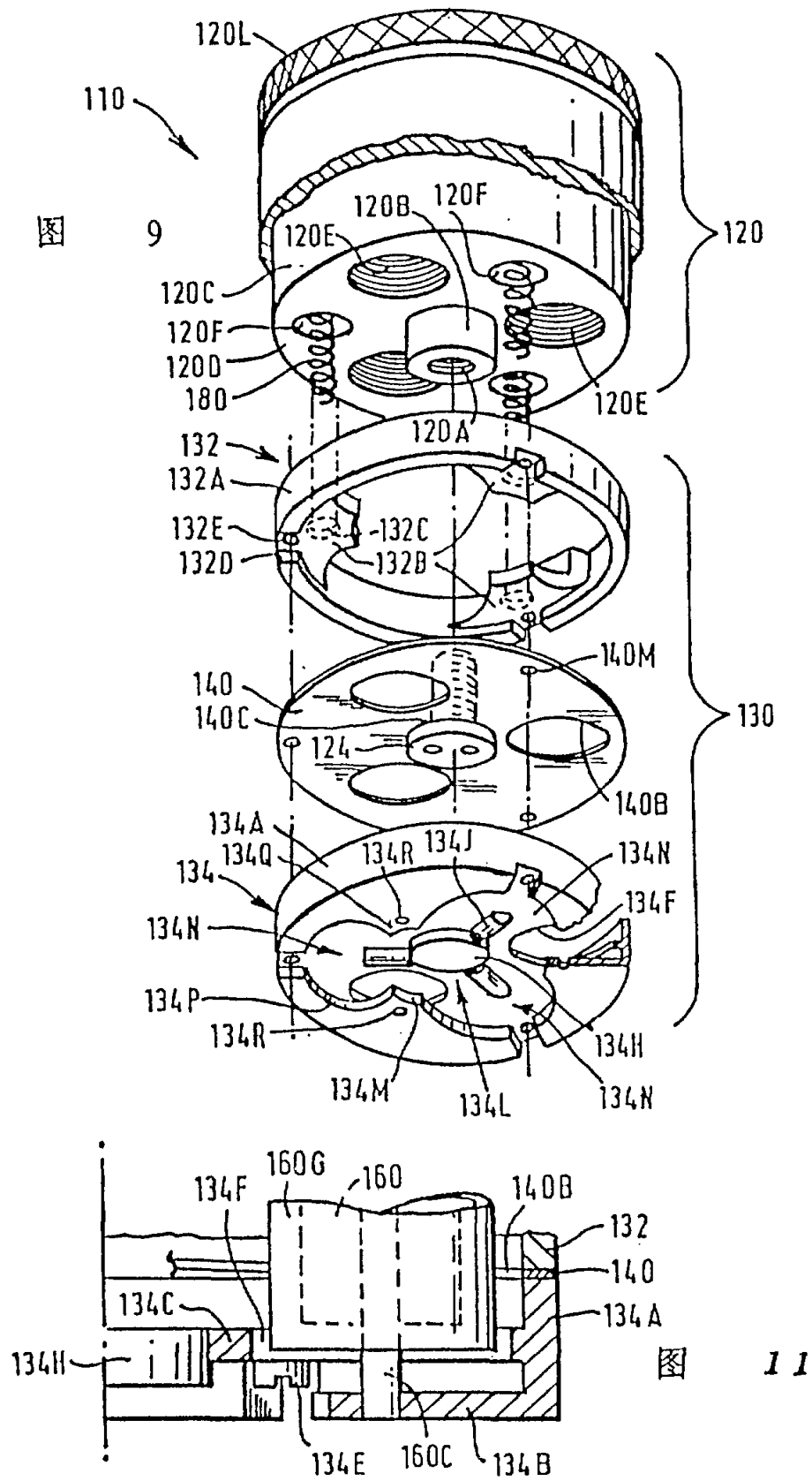


图 10



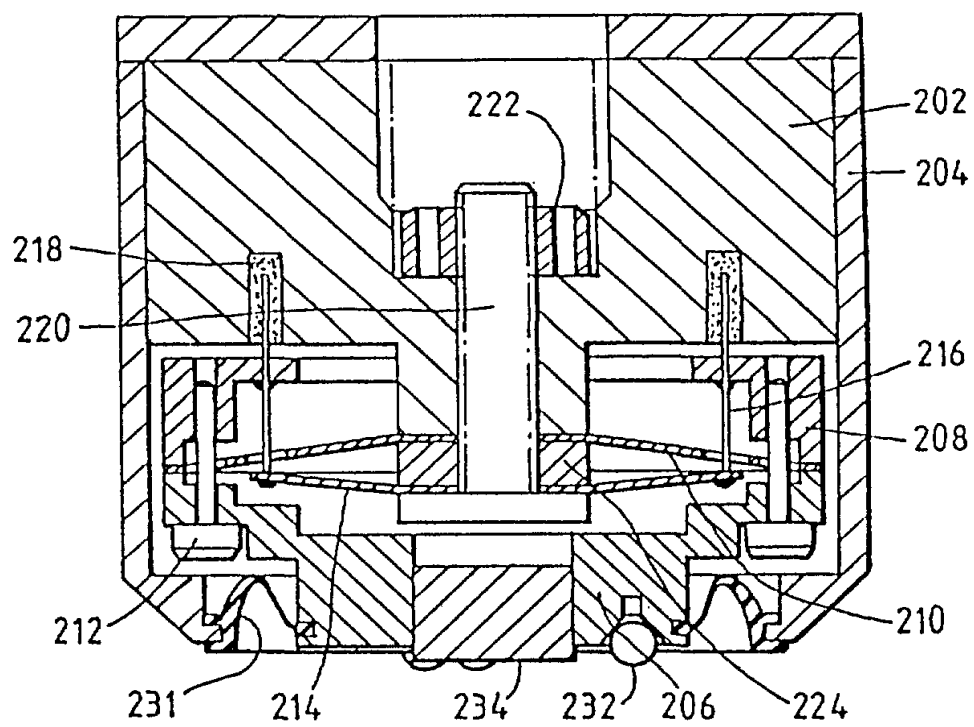
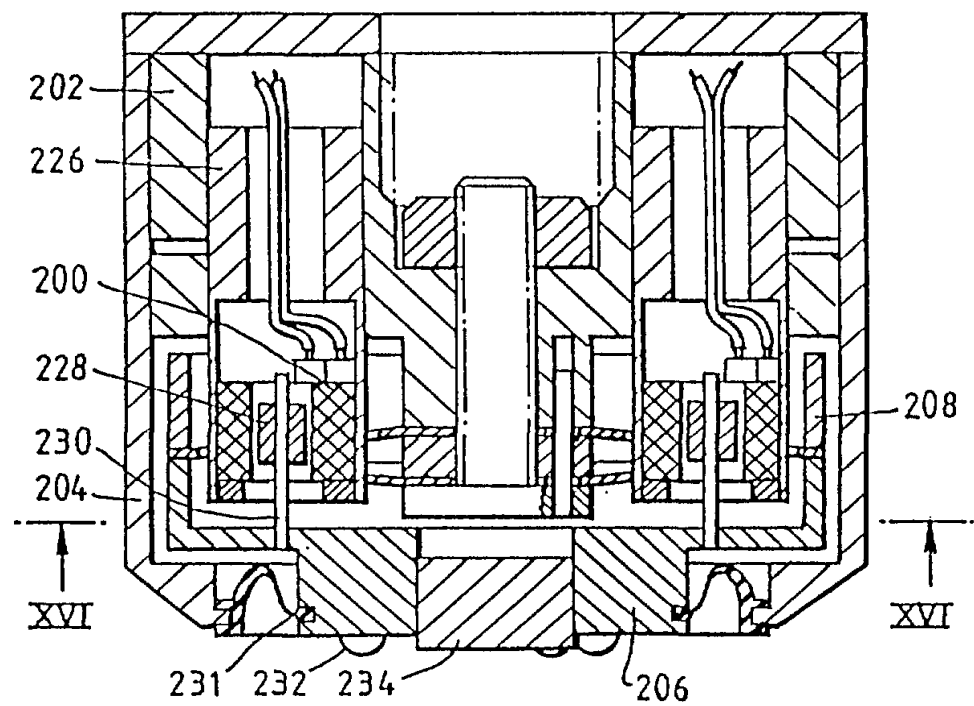


图 1 4

图 1 5



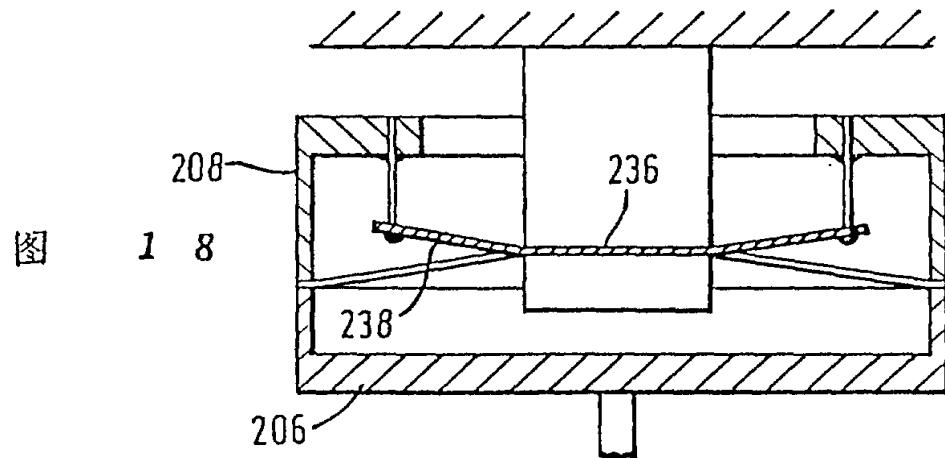
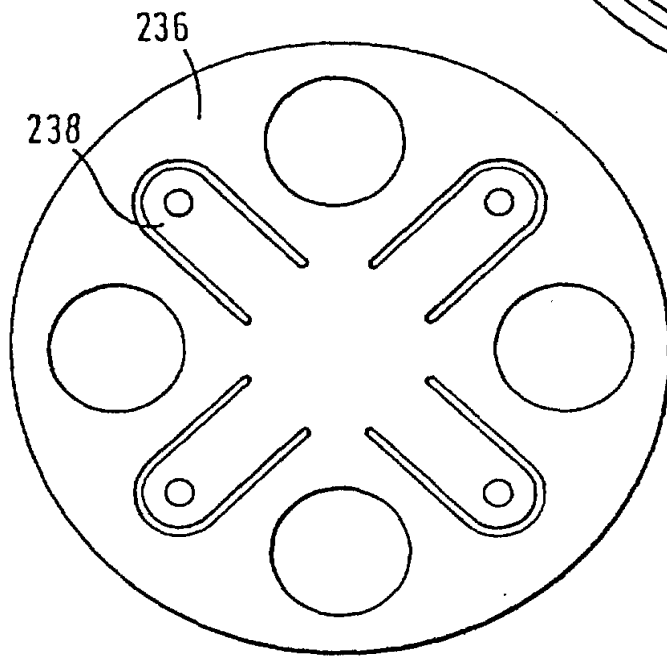
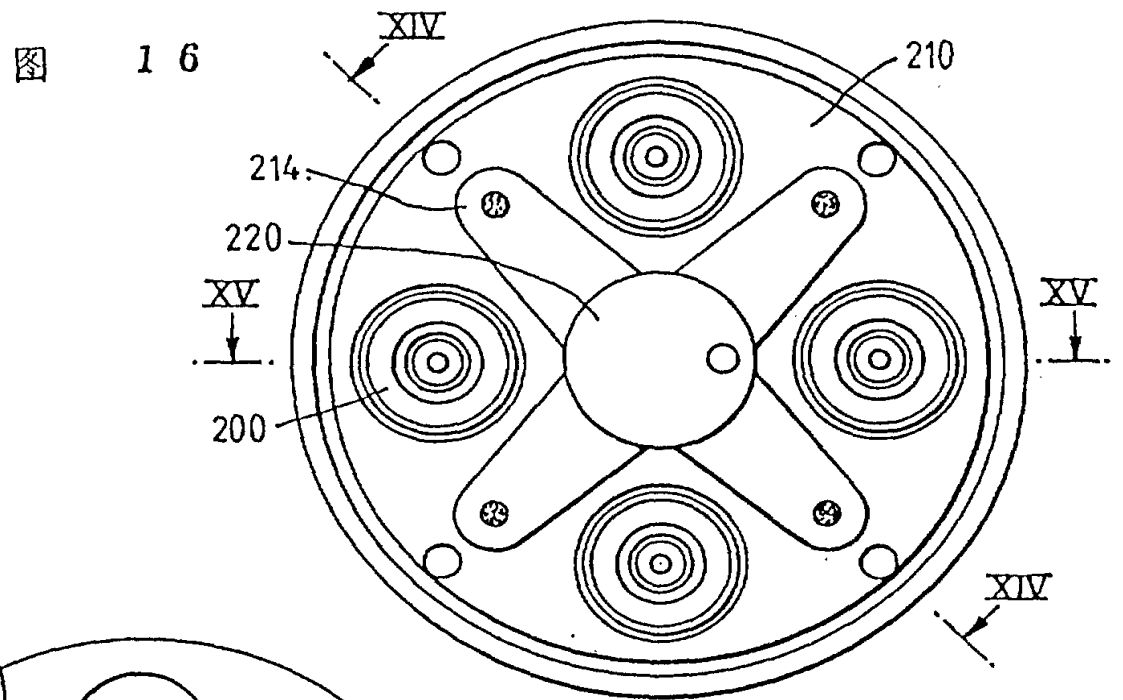


图 20

