



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 1846148 B

(45) 授权公告日 2010.12.15

(21) 申请号 200480025472.7

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2004.09.03

G01S 7/497(2006.01)

(30) 优先权数据

G01S 17/42(2006.01)

60/500,775 2003.09.05 US

G01B 11/00(2006.01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

审查员 郝学江

2006.03.06

(86) PCT申请的申请数据

PCT/US2004/028575 2004.09.03

(87) PCT申请的公布数据

W02005/026772 EN 2005.03.24

(73) 专利权人 FARO 科技有限公司

地址 美国佛罗里达州

(72) 发明人 彼得·G·克拉默

詹姆斯·K·韦斯特

罗伯特·E·布里奇斯

(74) 专利代理机构 北京金信立方知识产权代理

有限公司 11225

代理人 南霆

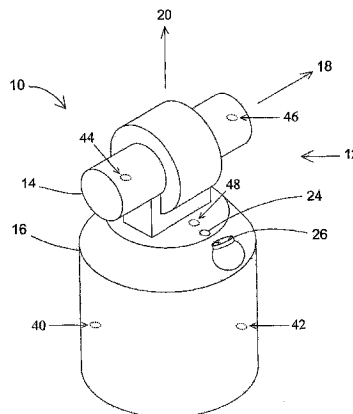
权利要求书 2 页 说明书 6 页 附图 2 页

(54) 发明名称

自补偿激光跟踪器

(57) 摘要

本发明提供了一种用于补偿坐标测量机的设备和方法,其可以是基于激光的坐标测量机、激光跟踪器或其他坐标测量设备。在一示例性方法中,这种补偿包括借助于内嵌的跟踪器目标的有效载荷参数自补偿。在另一示例性实施例中,这种补偿包括借助于内嵌的温度传感器的有效载荷、方位杆、轴或 RO 参数的自补偿。



1. 发射激光束的自补偿激光跟踪器,包括:

发射激光束的激光源;

激光跟踪器内部的顶点机械轴;

激光跟踪器内部的方位机械轴,顶点机械轴和方位机械轴转动成使激光束指向所需方向;

方位旋转底座;

安装在方位旋转底座上的后向反射器,该后向反射器将所述激光束作为返回激光束发送回到其自身上;

安装在方位旋转底座上的镜,该镜定位成当激光束发送到镜上的适当位置时用作后向反射器;及

其中激光跟踪器用于:(1) 以前视方式和后视方式测量到所述镜的距离;(2) 使用前视和后视测量结果计算激光束相对于理论理想值的角偏移;(3) 以后视方式测量到后向反射器的距离;及(4) 计算激光束相对于激光跟踪器万向接头点的偏移。

2. 根据权利要求1的自补偿激光跟踪器,还包括安装在方位旋转底座上的顶点旋转支架。

3. 激光跟踪器的自补偿方法,包括:

利用激光跟踪器源以前视方式测量到固定于或嵌入在跟踪器支架内的第一反射目标的距离;

利用激光跟踪器源以后视方式测量到固定于或嵌入在跟踪器支架内的第一反射目标的距离;

使用第一反射目标的前视和后视测量结果计算激光束相对于理论理想值的角偏移;

利用激光跟踪器源以后视方式测量到固定于或嵌入在跟踪器支架内的第二反射目标的距离;及

计算激光束相对于激光跟踪器万向接头点的偏移。

4. 根据权利要求3的自补偿方法,其中所述第一反射目标是镜。

5. 根据权利要求3的自补偿方法,其中所述第二反射目标是后向反射器。

6. 根据权利要求3的自补偿方法,其中所述角偏移由参数RX和RY描述,参数根据下式计算:

$$RY = \Delta ZE/2 ; \text{及}$$

$$RX = \frac{1}{2}[\Delta AZ + \tan^{-1}(\cos(ZE)\sin(AXNS)/\sin(ZE))];$$

其中 $\Delta ZE = ZE_{BS} + ZE_{FS}$ 及 $\Delta AZ = AZ_{BS} - \pi - AZ_{FS}$; 及

其中RX和RY为激光束的角偏移参数, ZE_{BS} 为后视顶角, ZE_{FS} 为前视顶角, AZ_{BS} 为后视方位角, AZ_{FS} 为前视方位角, ZE 为顶角, 及 AXNS 为轴不垂直度参数。

7. 根据权利要求3的自补偿方法,其中所述偏移由参数TX和TY描述,参数根据下式计算:

$$TX = \frac{1}{2}\Delta ZE \cdot d - AXOF \cdot \cos(ZE); \text{及}$$

$$TY = \frac{1}{2}\Delta AZ \cdot d \cdot \sin(ZE);$$

其中 $\Delta ZE = ZE_{BS} + ZE_{FS}$ 及 $\Delta AZ = AZ_{BS} - \pi - AZ_{FS}$; 及

其中 TX 和 TY 为激光束的偏移参数, ZE_{BS} 为后视顶角, ZE_{FS} 为前视顶角, AZ_{BS} 为后视方位角, AZ_{FS} 为前视方位角, ZE 为顶角, d 是从万向接头点到内嵌后向反射器的距离, 及 AXOF 为轴偏移。

自补偿激光跟踪器

技术背景

[0001] 本发明公开的内容涉及坐标测量设备。一套坐标测量设备属于一类通过发射激光束到点而测量该点坐标的仪器。激光束可以直接照射到该点上或可以照射到与该点接触的后向反射器目标上。在任一情况下,仪器通过测量到目标的距离和两个角度确定点的坐标。距离用距离测量设备测量,如绝对测距仪或干涉仪。角度用角度测量设备测量,如角编码器。仪器内部的万向光束操纵机构使激光束照射到感兴趣的点上。确定点的坐标的示例系统在布朗 (Brown) 等的美国专利 4,790,651 和劳 (Lau) 等的美国专利 4,714,339 中进行了描述。

[0002] 激光跟踪器是一类特殊的坐标测量设备,其以所发射的一个或多个激光束跟踪后向反射器目标。与激光跟踪器密切相关的设备是激光扫描器。激光扫描器分步发射一个或多个激光束到漫射表面上的点。激光跟踪器和激光扫描器都是坐标测量设备。目前常用的术语激光跟踪器也指具有距离和角度测量能力的激光扫描器设备。激光跟踪器包括激光扫描器的这种广义定义,贯穿本申请使用。

[0003] 补偿参数是存储在跟踪器可访问的软件或固件中的数值。这些数值应用于跟踪器的原始数据以提高跟踪器的精度。首先,跟踪器制造商通过执行称为补偿程序的测量找到补偿参数。然后,跟踪器将在用户的地点使用进行测量。跟踪器将通过定期执行临时测试而检查精度。如果精度不合格,跟踪器操作员将在工厂执行一个或多个补偿程序。这些将耗费几分钟到一个或更多个小时,取决于特定的跟踪器和所要求的测试。在大多数情况下,虽然机械振动也是跟踪器精度降低的重要原因,但主要原因是热漂移,因此需要补偿坐标测量机的新方法。

发明内容

[0004] 现有技术中的上述及其它不足被本发明的用于补偿坐标测量机的设备和方法克服或适当改善,前述设备可以是基于激光的坐标测量机、激光跟踪器或其他坐标测量设备。在一示例方法中,这样的补偿包括借助于内嵌跟踪目标进行的有效载荷 (payload) 参数自偿。

[0005] 在另一示例性实施例中,这样的补偿包括借助于内嵌温度传感器进行的有效载荷、方位杆、轴或 R0 参数的自补偿。

[0006] 两种方法都可以称作自补偿,因为它们是不需要人干预并不需外部目标的补偿程序。示例方法提供了一种快速、无需担心的方式来维持高跟踪器精度,即使跟踪器所在环境中的温度剧烈变化也不例外。

[0007] 本领域的技术人员将从以下详细说明和附图认识到并理解用于自补偿激光跟踪器的设备和方法的上述和其他一些特征和优点。

附图说明

[0008] 参考附图,其中相同的元件在几张图中以相同的数字表示:

[0009] 图 1 表示带有自补偿元件的示例万向光束操纵机构的透视图 ; 及

[0010] 图 2 表示了图 1 所示的万向光束操纵机构的顶部俯视图。

具体实施方式

[0011] 下面将详细提及示例性实施例,其例子如附图所示。

[0012] 激光跟踪器 10 的示例性万向光束操纵机构 12 如图 1 所示,其包括安装在方位旋转底座 16 上的顶点旋转支架 14,顶点和方位机械轴 18、20 转动以使激光束指向所需方向。为了清晰和简单,在下述讨论中采用这类万向接头机构 12。但是,也可使用其他类型的万向接头,且这里所描述的技术也可应用到这些其他类型的万向接头。

[0013] 借助内嵌跟踪器目标的自补偿

[0014] 示例性自补偿方法提供了确定四个有效载荷参数 TX、TY、RX 和 RY 的方法,这四个参数描述了激光束相对于跟踪器的万向接头点的位置和方向。万向接头点定义为跟踪器的机械枢轴点。在理想的跟踪器中,万向接头点在空间上固定,且一个(多个)激光束通过该点。在实际跟踪器中,激光束不是准确通过万向接头点而是相对于万向接头点稍有偏移。这种偏移,定义为从万向接头点到激光束的垂直距离,通过两个参数 TX、TY 说明。这里 y 沿顶点轴, x 垂直于 y 和激光束。

[0015] 而且,在理想激光跟踪器中,当顶角设置为 90 度时,激光束垂直于顶点和方位机械轴。在实际激光跟踪器中,激光束相对于理想条件的角偏移由 RX 和 RY 参数描述。当右手拇指指向 x 方向, RX 方向沿手指方向。当右手拇指指向 y 方向, RY 方向沿手指方向。

[0016] 在当前示例方法中,两个内嵌目标 22、24 放置在激光跟踪器的主体 16 上,如图 1 和 2 所示。这些目标 24 之一是后向反射器,其可以是角锥、向后球形 (retrosphere) 或将返回光束发送回到其自身上的任何类型的设备。第二目标 22 是镜,其以这样的方式定位,当激光发射到镜上的合适位置时其能作为后向反射器。

[0017] 为了确定四个参数,可以前视和后视的方式对这两个目标中的每一个进行测量。前视方式定义为跟踪器的普通工作方式。后视方式的实现是以前视方式开始,并进行下列步骤:(1) 将方位轴 20 旋转 180 度;(2) 旋转顶点轴 18 以具有负的初始顶角;及(3) 开始跟踪。最后一步将使激光束移到角锥后向反射器或镜上的合适位置,从而建立回扫条件。换句话说,返回跟踪器的激光束沿着或回扫输出激光束的路径。在理想激光跟踪器中,前视方式和后视方式的内嵌目标角度测量结果将是相同的。在实际跟踪器中,这些角度将不完全相同,该差异可以用于计算四个参数。

[0018] 对于这里描述的可应用的技术,必须符合两个条件:(1) 机械结构必须稳定和(2) 返回的激光束必须精确回扫输出激光束。

[0019] 考虑第一条件,跟踪器结构的稳定性由两个参数的稳定性决定:轴不垂直度 (AXNS) 和轴偏移 (AXOF)。在理想跟踪器中,顶点机械轴精确垂直于方位机械轴,且两轴是共面的。在实际跟踪器中,AXNS 是垂直方向的角度偏离,AXOF 是两机械轴之间的垂直距离。为了机械结构稳定,AXNS 和 AXOF 参数必须稳定,或至少随时可预测。

[0020] 考虑第二条件,返回激光束的精度将取决于跟踪系统的稳定性和恰当补偿。进入跟踪器的返回激光部分分离并照射到位置探测器。位置探测器给出电信号,其指出激光束矩心在探测器的二维表面上的位置。如果返回的激光束准确回扫输出的激光束,它将照射

到位置探测器上特定的位置,称为回扫位置。当跟踪器处于跟踪方式时,跟踪系统其余的部分,包括角编码器、电机、控制电子设备和控制软件,保持激光束接近回扫位置。为了返回激光束精确回扫输出的激光束,回扫位置必须准确知晓。

[0021] 通过对内嵌镜 22 执行后视测量得出 RX 和 RY 参数。如果前视的顶角是 ZE_{FS} 且后视的顶角是 ZE_{BS} , 则后视角将近似等于前视测量结果的负值, 则两个角的和将是一个很小的值,

$$[0022] \quad \Delta ZE = ZE_{BS} + ZE_{FS} \quad (1)$$

[0023] RY 参数由下式给出

$$[0024] \quad RY = \Delta ZE / 2 \quad (2)$$

[0025] 如果前视方位角是 AZ_{FS} , 后视方位角是 AZ_{BS} , 则后视角将比前视角大大约 π 弧度角。方位角的变化将是一个很小的数,

$$[0026] \quad \Delta AZ = AZ_{BS} - \pi - AZ_{FS} \quad (3)$$

[0027] RX 参数由下式给出

$$[0028] \quad RX = 1/2 [\Delta AZ + \tan^{-1}(\cos(ZE) \sin(AZ_{NS}) / \sin(ZE))] \quad (4)$$

[0029] TX 和 TY 参数通过对内嵌角锥后向反射器执行后视测量获得。如果 d 是从万向接头点到内嵌后向反射器的距离, TX 和 TY 参数可从下式得出:

$$[0030] \quad TX = 1/2 \Delta ZE \cdot d - AXOF \cdot \cos(ZE) \quad (5)$$

$$[0031] \quad TY = 1/2 \Delta AZ \cdot d \cdot \sin(ZE) \quad (6)$$

[0032] 借助于内嵌温度传感器的自补偿

[0033] 跟踪器参数的大多数变化由跟踪器内部元件的热胀冷缩引起。在示例性实施例中, 嵌入在激光跟踪器结构内部的多个位置处的温度传感器监测温度变化。采集到的温度数据使补偿参数可被实时调整。对下列参数进行与温度有关的调整: (1) 有效载荷, (2) 方位杆, (3) 轴的非垂直度, 和 (4) R0。

[0034] 借助于温度传感器补偿有效载荷参数

[0035] 参考图 2, 有效载荷是跟踪器内的物理结构, 其由方位机械轴旋转。在一示例性实施例中, 嵌入有效载荷内的一个或多个温度传感器 30 提供有效载荷内元件 32 的温度信息。这些元件 32 包括光学元件, 如分束器和透镜, 以及包括光学元件安装于其上的机械元件。

[0036] 有效载荷内元件的热胀冷缩能导致四个偏移和角度参数 RX、RY、TX 和 TY 的轻微漂移。在精心制造的跟踪器中, 这些参数的轻微变化正比于有效载荷温度的变化。

[0037] 首先, 四个角参数可以用下列两种方法之一确定: 通过定点补偿或通过以内嵌镜或角锥后向反射器自补偿。上面已经讨论了以内嵌镜或角锥后向反射器自补偿的方法。定点补偿是一种可在工厂执行的测量程序, 如果需要, 也可在用户处执行。在这一程序中, 在少数位置以前视和后视方式测量球形安装的后向反射器 (SMR)。球形安装的后向反射器是金属球, 角锥后向反射器安装在球内部, 角锥顶点在球心位置。在补偿时, 参数值记录为 RX_0 、 RY_0 、 TX_0 和 TY_0 , 初始有效载荷温度记录为 $T_{PAYLOAD_0}$ 。其后, 随着有效载荷的温度变化至 $T_{PAYLOAD}$, 有效载荷温度的变化量定义为:

$$[0038] \quad \Delta T_{PAYLOAD} = T_{PAYLOAD} - T_{PAYLOAD_0} \quad (7)$$

[0039] 四个参数的值实时修正为

$$[0040] \quad RX = RX_0 + k_{RX} \cdot \Delta T_{PAYLOAD} \quad (8)$$

$$[0041] \quad RY = RY_0 + k_{RY} \cdot \Delta T_{\text{PAYLOAD}} \quad (9)$$

$$[0042] \quad TX = TX_0 + k_{TX} \cdot \Delta T_{\text{PAYLOAD}} \quad (10)$$

$$[0043] \quad TY = TY_0 + k_{TY} \cdot \Delta T_{\text{PAYLOAD}} \quad (11)$$

[0044] 可通过将典型的跟踪器放入外壳内,继而变化温度同时以前视和后视方式测量内嵌镜和角锥后向反射器目标以监测 RX、RY、TX 和 TY 的值来确定比例常数 k_{RX} 、 k_{RY} 、 k_{TX} 和 k_{TY} 。比例常数由参数变化值除以温度变化求得。

[0045] 借助于温度传感器的方位杆参数补偿

[0046] 如图 1 和图 2 的示例跟踪器所示,跟踪器可以位于称为方位杆的结构底座之上。位于方位杆内部的机械轴在轴承上旋转并为跟踪器提供方位运动。示例跟踪器安装在方位杆底部。在一实施例中,跟踪器安装在直立的位置,所以方位杆的热胀使万向接头点的高度增加。

[0047] 连接到方位杆的温度传感器 40、42 监测杆的温度。在开始测量时,方位杆的温度是 $T_{\text{AZ_POST}_0}$ 。随着测量进行,温度从初始值的变化量为:

$$[0048] \quad \Delta T_{\text{AZ_POST}} = T_{\text{AZ_POST}} - T_{\text{AZ_POST}_0} \quad (12)$$

[0049] 对应温度的变化,万向接头点的高度变化量为:

$$[0050] \quad \Delta Z_{\text{GIMBAL}} = k_{\text{AZ_POST}} \cdot \Delta T_{\text{AZ_POST}} \quad (13)$$

[0051] 在示例跟踪器中,沿跟踪器一侧的电子设备可不均匀加热方位杆。在这种情况下,方位杆内的温度梯度会使方位杆弯曲。这种弯曲将产生两种影响。第一,将使万向接头点在垂直于方位轴的平面内移动 ΔX_{GIMBAL} 和 ΔY_{GIMBAL} ,注意方向 X 和 Y 一般不对应于前面讨论的 x 和 y 方向。第二,温度梯度将使方位杆的末端变化方向。包含顶点轴的支架安装在方位杆的端部,所以方位杆的弯曲将使激光束方向变化远离跟踪器。方位杆端部的角度方向变化记为 $\Delta \text{Ang}X_{\text{AZ_POST}}$ 和 $\Delta \text{Ang}Y_{\text{AZ_POST}}$ 。这里 $\Delta \text{Ang}X_{\text{AZ_POST}}$ 和 $\Delta \text{Ang}Y_{\text{AZ_POST}}$ 是当右手拇指分别指向 X 或 Y 方向时,手指弯曲给出的角度方向。与方位杆弯曲有关的参数与方位杆两对边温度的变化有关。如果在 X 和 Y 方向方位杆两边的典型温度差是 $\Delta T_{\text{AZ_POST}_X}$ 和 $\Delta T_{\text{AZ_POST}_Y}$,则杆的弯曲引起的变化由下式给出:

$$[0052] \quad \Delta X_{\text{GIMBAL}} = k_{\text{AZ_POST}_X_GIMBAL} \cdot \Delta T_{\text{AZ_POST}_X} \quad (14)$$

$$[0053] \quad \Delta Y_{\text{GIMBAL}} = k_{\text{AZ_POST}_Y_GIMBAL} \cdot \Delta T_{\text{AZ_POST}_Y} \quad (15)$$

$$[0054] \quad \Delta \text{Ang}X_{\text{AZ_POST}} = k_{\text{AZ_POST}_X_ANGLE} \cdot \Delta T_{\text{AZ_POST}_Y} \quad (16)$$

$$[0055] \quad \Delta \text{Ang}Y_{\text{AZ_POST}} = k_{\text{AZ_POST}_Y_ANGLE} \cdot \Delta T_{\text{AZ_POST}_X} \quad (17)$$

[0056] 注意,这四个量在整个跟踪器结构的参照系内,跟踪器结构参照系相对于实验室固定。相比之下,量 TX、TY、RX 和 RY 在有效载荷的参照系内,有效载荷参照系在方位和顶点方向旋转,相对于实验室不固定。这些不同的补偿效果由首先执行从一个参照系到另一个参照系的数学变换组合而成。

[0057] 式 (14)–(17) 中的比例常数通过变化周围环境的温度同时跟踪器反复测量四个 SMR 目标而得出。所有四个 SMR 大约位于相同的水平面。其中两个 SMR 相当靠近跟踪器,如从跟踪器测量,二者具有约 90 度的角间距。另两个 SMR 远离跟踪器,并具有相同的角间距。随着万向接头点的移动,四个目标的指示位置将发生变化。较近的目标比较远的目标相对较多受到方位杆端部的方向变化的影响,相对较少受到万向接头 ΔX 和 ΔY 移动的影响。敏感度的不同使四个比例常数可从公式中求出。

[0058] 借助于温度传感器的轴非垂直度参数的补偿

[0059] 之前解释过在理想跟踪器中,顶点机械轴精确垂直于方位机械轴。在实际跟踪器中,垂直方向的角偏移称为轴非垂直度。在目标位置的计算中,轴非垂直度的影响由轴非垂直度 (AXNS) 参数消除。在精心制造的激光跟踪器中,轴非垂直度是稳定的,相对不受周围空气温度的影响。但是,需要相对大的电机以获取快速顶点移动。这种电机安装在顶点机械轴上,且如果在一个持续期间执行快速移动则可以产生相当多的热量。这种热量可以使靠近方位轴一端处热胀。这会导致顶点机械轴的移动,结果 AXNS 参数发生改变。考虑 AXNS 参数的实时变化,温度传感器 44、46 放置在顶点轴的两端。这些温差称作 ΔT_{ZE_AXIS} ,且相应的 AXNS 参数的变化量为:

$$[0060] \quad \Delta AXNS = k_{AXNS} \cdot \Delta T_{ZE_AXIS} \quad (18)$$

[0061] 为了得出式中的比例常数 k_{AXNS} ,监测温差 ΔT_{ZE_AXIS} 的同时测量 AXNS 参数的变化。如果有效载荷参数 TX、TY、RX 和 RY 已准确得知,则 AXNS 参数能够很容易通过以前视和后视方式在三个距跟踪器不同的距离简单地测量 SMR 确定。例如,SMR 可以放置在距跟踪器 2、4 和 6 米的粘附在地面上的磁套里。如前所述,有效载荷参数可借助于跟踪器上的镜和角锥后向反射器精确确定,所以三目标方法是一个好方法。更精确确定 AXNS 参数的方法建立固定物以在垂直平面内的半圆形中保持几个 SMR 与跟踪器等距。再以前视和后视方式测量目标。这种方法的优点是使 AXNS 参数的计算独立于 RX、RY、TX 和 TY。然而,因为不需特殊固定物就能精确确定 AXNS 参数,所以通常首选使用三个地面目标的方法。

[0062] 与 AXNS 参数紧密相关的参数是 AXOF 参数。如前所述,在理想跟踪器中,方位和顶点机械轴是共面的。在实际跟踪器中,AXOF 是两机械轴之间的垂直距离。补偿 AXOF 以实时说明温度变化是可能的。但是,在精心制造的跟踪器中,AXOF 参数是很小的,或许 10 微米,参数变化对温度变化比较不敏感。由于这一原因,通常不需实时补偿 AXOF 参数。

[0063] 借助于温度传感器的 R0 参数补偿

[0064] 参数 R0 定义为从万向接头点到跟踪器原始位置的距离。原始位置 26 固定在严密粘附于跟踪器结构的磁套处。在示例跟踪器中,磁套靠近跟踪器下部放置,这样跟踪器的角范围不会被挡住。R0 参数的值通过补偿程序在工厂或用户地点确定。在该程序中,两个磁套粘附在仪器架上,仪器架的高度可调整,这样位于这些磁套内的 SMR 中心的高度与跟踪器的万向接头点的高度相同。首先,跟踪器直接与两个仪器架成直线放置,但是位于两仪器架之外。跟踪器测量到位于第一磁套内和第二磁套内的 SMR 的距离。这两个 SMR 位置间的距离差是两个 SMR 间的真实距离。接着,跟踪器与两个仪器架成直线移动,但是在两个仪器架之间。跟踪器再次测量到位于两个磁套中的每一个 SMR 的距离。在理想跟踪器中,用跟踪器测量的两个仪器架之间距离的和精确地等于用跟踪器测量的两个仪器架之外的距离。两个值之间的差异用于修正 R0 的值。

[0065] 在执行 R0 补偿程序时,R0 的初始值 $R0_0$ 和表示万向接头点和原始点之间路径的初始温度 T_{R0_0} 由至少一个温度传感器 48 记录。为了实时修正 R0,从当前温度 T_{R0} 中减去初始温度以获得温度差:

$$[0066] \quad \Delta T_{R0} = T_{R0} - T_{R0_0} \quad (19)$$

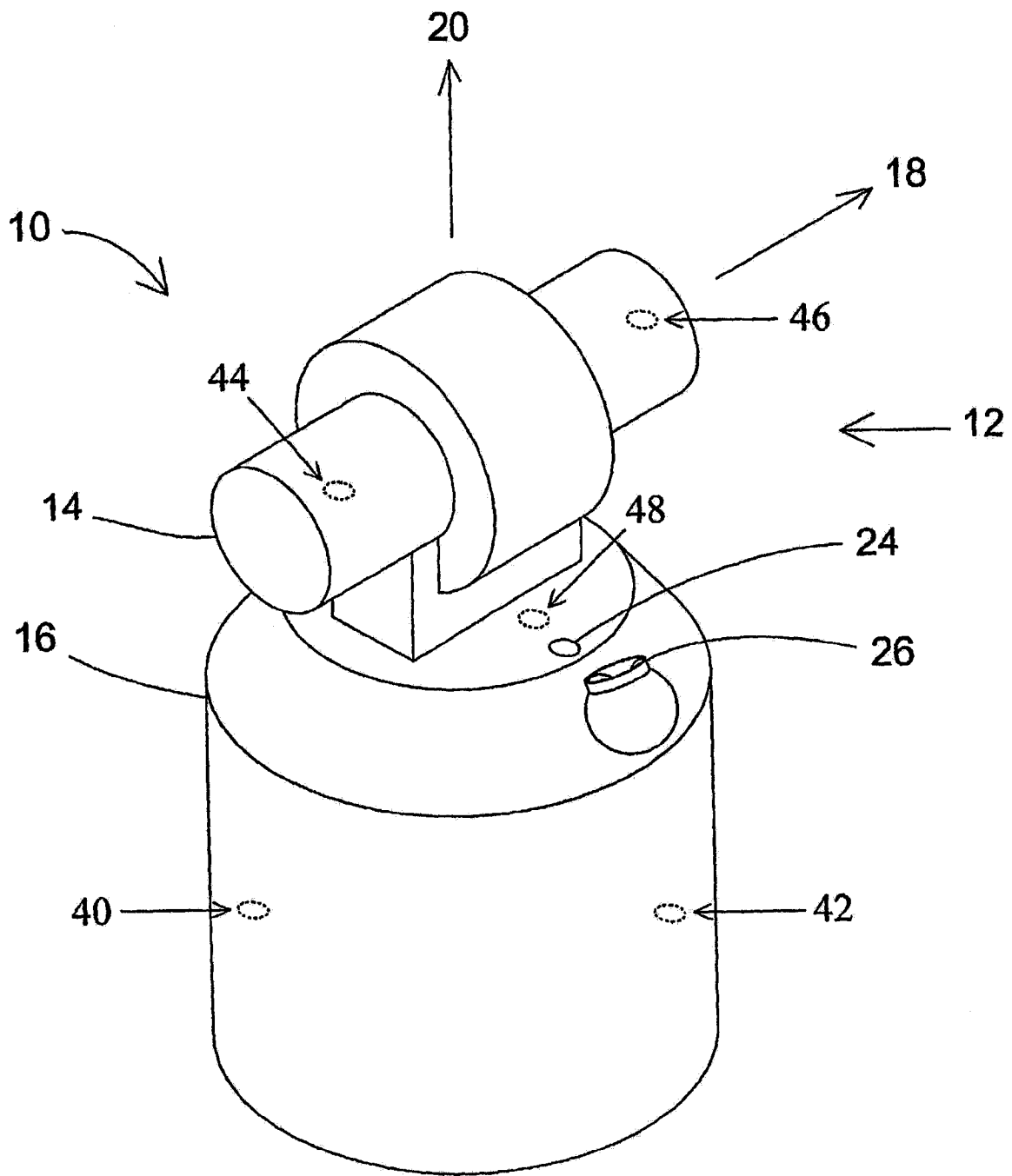
[0067] R0 的变化量由下式给出:

$$[0068] \quad \Delta R0 = k_{R0} \cdot \Delta T_{R0} \quad (20)$$

[0069] 在工厂通过将 SMR 放置在原始位置并在跟踪器内使用干涉计或绝对距离计监测到 SMR 距离的变化是温度 T_{R0} 的函数而得出比例常数 k_{R0} 。

[0070] 虽然只提及了温度传感器的示例性放置,但是应该注意在跟踪器内或跟踪器上对提供与被测参数有关的温度变化的指示有效的任何放置均包含于此。

[0071] 此外,在示例性实施例已经在此展示和描述的同时,不背离本发明的实质和范围的对用于激光跟踪器自补偿的设备和方法的各种修改与变化对本领域的技术人员是显而易见的。因此,应理解已描述的各种实施例是作为说明而不是限定。



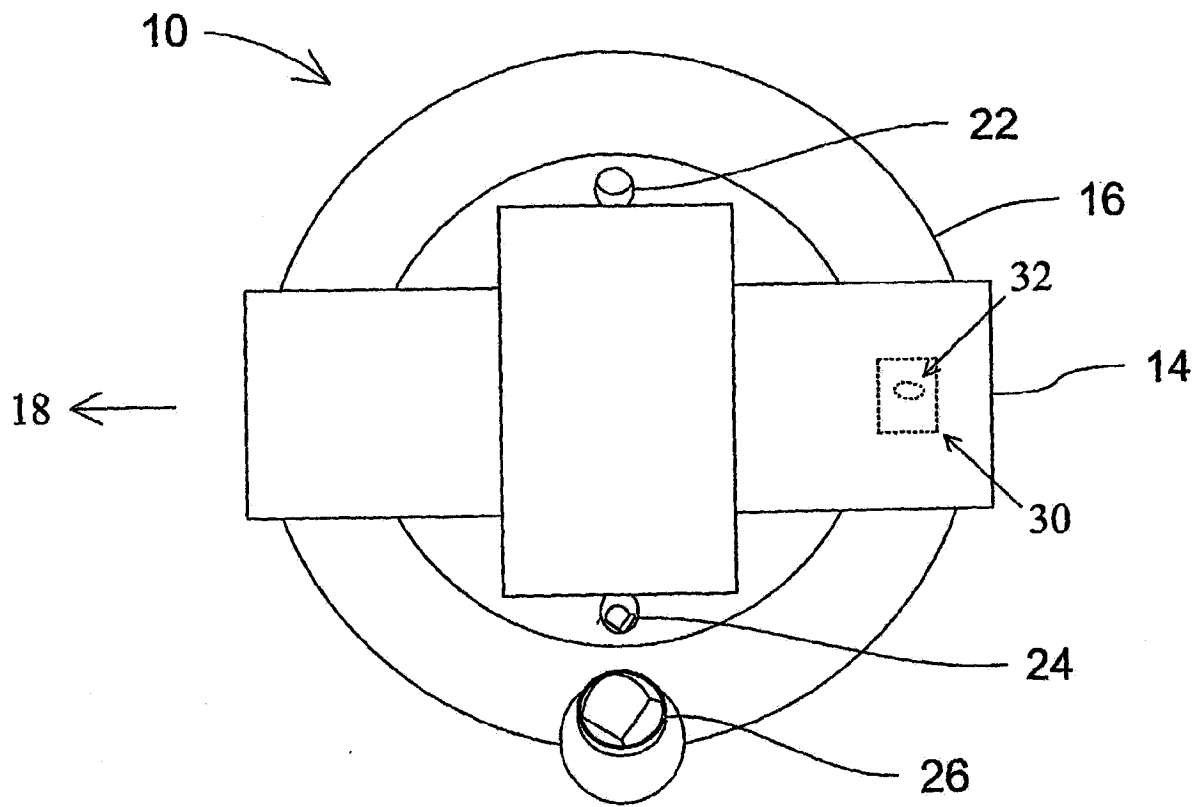


图 2