



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102927887 A

(43) 申请公布日 2013. 02. 13

(21) 申请号 201210421101. 7

(22) 申请日 2012. 10. 29

(71) 申请人 东南大学

地址 211189 江苏省南京市江宁开发区东南
大学路 2 号

(72) 发明人 李彬 徐白羽

(74) 专利代理机构 南京苏高专利商标事务所

(普通合伙) 32204

代理人 柏尚春

(51) Int. Cl.

G01B 5/16 (2006. 01)

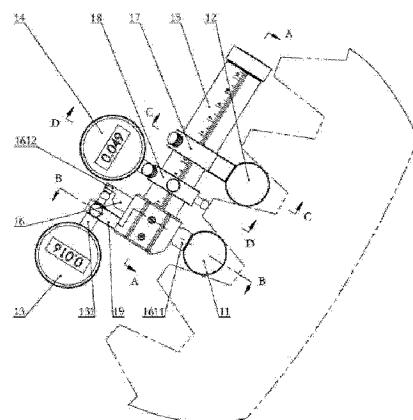
权利要求书 3 页 说明书 10 页 附图 9 页

(54) 发明名称

一种大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量装置

(57) 摘要

一种大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量装置，包含一个前定位元件 11、一个后定位元件 12、一个中心距测量表头 13、一个径向测量表头 14、一个杠杆机构 16 和一个本体 15，前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距能够改变并可由中心距测量表头 13 测得；测量时将前定位元件 11 和后定位元件 12 分别卡入被测齿轮的两个齿间，并使径向测量表头 14 与被测齿轮齿顶圆或齿根圆接触，读出此时中心距测量表头 13 和径向测量表头 14 的读数。以此类推，围绕被测齿轮一周，根据得到的所有读数即可以算出被测齿轮的齿距偏差。相比基于不同原理的现有齿距仪，装置具有操作简单、接触稳定和重复性好等特点，保证了测量精度，还可以一次测量同时得到两侧齿面的齿距偏差。



1. 一种用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,当用于奇数齿齿轮齿距偏差测量时,该装置包含一个前定位元件(11)、一个后定位元件(12)、一个中心距测量表头(13)、一个径向测量表头(14)、一个杠杆机构(16)以及一个作为装配基准的本体(15);当用于偶数齿齿轮齿距偏差测量时,该装置还包含一个独立的齿间测量附件(3),其中,所述前定位元件(11)为一个圆柱体或一个球体,所述后定位元件(12)亦为一个圆柱体或一个球体,它们的直径相同,但前定位元件(11)和后定位元件(12)不同时为一个球体;所述中心距测量表头(13)和径向测量表头(14)都为一个直线位移测量装置;所述前定位元件(11)和后定位元件(12)位于本体(15)同侧,而且,当前定位元件(11)和后定位元件(12)都为一个圆柱体时,它们的轴线平行;所述后定位元件(12)直接或间接固定连接在本体(15)上;所述杠杆机构(16)包含一个杠杆(161),杠杆(161)的杠杆一端(1611)与前定位元件(11)固定连接,通过一个转动副(162)将杠杆(161)与本体(15)连接在一起,其中,转动副(162)轴线与前定位元件(11)和后定位元件(12)中为圆柱体的前定位元件(11)或后定位元件(12)轴线平行,而且,当前定位元件(11)随着杠杆(161)围绕转动副(162)轴线转动从而改变前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距时,存在这样一个位置,前定位元件(11)轴线或球心的瞬时运动方向与此时前定位元件(11)和后定位元件(12)中心线方向相同,定义此时前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距为其零位中心距;所述中心距测量表头(13)固定连接在本体(15)上,其测量轴线与杠杆(161)的杠杆另一端(1612)相交,而且,当前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距为其零位中心距时,中心距测量表头(13)测量轴线垂直于此时前定位元件(11)轴线或球心与转动副(162)轴线的中心线,能够测得前定位元件(11)和后定位元件(12)在其零位中心距附近的中心距改变量;所述径向测量表头(14)通过锁紧方式直接或间接固定连接在本体(15)上并在锁紧松开后可以沿其测量轴线方向改变位置,径向测量表头(14)位于前定位元件(11)和后定位元件(12)之间,其测量轴线与前定位元件(11)和后定位元件(12)中为圆柱体的前定位元件(11)或后定位元件(12)轴线异面垂直,而且,当前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距为其零位中心距时,径向测量表头(14)测量轴线垂直相交于此时前定位元件(11)和后定位元件(12)中心线的中点。

2. 如权利要求1所述的用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,在所述后定位元件(12)上固定连接一个后定位测座(17),在所述径向测量表头(14)上固定连接一个径向测座(18),其中,所述后定位测座(17)和径向测座(18)与本体(15)分别成沿同一方向的直线位移滑动配合连接并能够与本体(15)锁紧,当此处后定位测座(17)和径向测座(18)与本体(15)锁紧时即为所述后定位测座(17)和径向测座(18)间接固定在本体(15)上的一种方式,所述直线位移方向与前定位元件(11)和后定位元件(12)中心距为其零位中心距时的前定位元件(11)和后定位元件(12)中心线方向相同。

3. 如权利要求1所述的用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,所述前定位元件(11)和后定位元件(12)分别设置一系列直径不同的圆柱体或球体作为附件,能够更换。

4. 如权利要求1所述的用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,当所述前定位元件(11)和后定位元件(12)都为一个圆柱体时,其中一个圆柱体长度很短,而另一个圆柱体相对较长。

5. 如权利要求 1 所述的用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,所述齿间测量附件(3)包含一个齿间定位元件(31)和一个齿间测量表头(32),其中,所述齿间定位元件(31)为一个圆柱体,齿间测量表头(32)为一个直线位移测量装置;所述齿间测量表头(22)固定连接在齿间定位元件(31)上,其测量轴线垂直相交于齿间定位元件(31)轴线。

6. 一种用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,该装置包含一个前定位元件(11)、一个后定位元件(12)、一个中心距测量表头(13)、一个径向测量表头(14)、一个杠杆机构(16)、一个后定位测座(17)、一个径向测座(18)以及一个作为装配基准的本体(15),其中,所述前定位元件(11)为一个圆柱体或一个球体,所述后定位元件(12)亦为一个圆柱体或一个球体,它们的直径相同,但前定位元件(11)和后定位元件(12)不同时为一个球体;所述中心距测量表头(13)和径向测量表头(14)都为一个直线位移测量装置;所述前定位元件(11)和后定位元件(12)位于本体(15)同侧,而且,当前定位元件(11)和后定位元件(12)都为一个圆柱体时,它们的轴线平行;所述后定位元件(12)间接固定连接在本体(15)上;所述杠杆机构(16)包含一个杠杆(161),杠杆(161)的杠杆一端(1611)与前定位元件(11)固定连接,通过一个转动副(162)将杠杆(161)与本体(15)连接在一起,其中,转动副(162)轴线与前定位元件(11)和后定位元件(12)中为圆柱体的前定位元件(11)或后定位元件(12)轴线平行,而且,当前定位元件(11)随着杠杆(161)围绕转动副(162)轴线转动从而改变前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距时,存在这样一个位置,前定位元件(11)轴线或球心的瞬时运动方向与此时前定位元件(11)和后定位元件(12)中心线方向相同,定义此时前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距为其零位中心距;所述中心距测量表头(13)固定连接在本体(15)上,其测量轴线与杠杆(161)的杠杆另一端(1612)相交,而且,当前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距为其零位中心距时,中心距测量表头(13)测量轴线垂直于此时前定位元件(11)轴线或球心与转动副(162)轴线的中心线,能够测得前定位元件(11)和后定位元件(12)在其零位中心距附近的中心距改变量;所述径向测量表头(14)通过锁紧方式直接或间接固定连接在本体(15)上并在锁紧松开后可以沿其测量轴线方向改变位置,径向测量表头(14)位于前定位元件(11)和后定位元件(12)之间,其测量轴线与前定位元件(11)和后定位元件(12)中为圆柱体的前定位元件(11)或后定位元件(12)轴线异面垂直,而且,当前定位元件(11)和后定位元件(12)的中心距为其零位中心距时,径向测量表头(14)测量轴线垂直相交于此时前定位元件(11)和后定位元件(12)中心线的中点;

在所述后定位元件(12)上固定连接后定位测座(17),在所述径向测量表头(14)上固定连接径向测座(18),其中,所述后定位测座(17)和径向测座(18)与本体(15)分别成沿同一方向的直线位移滑动配合连接并能够与本体(15)锁紧,当此处后定位测座(17)和径向测座(18)与本体(15)锁紧时即为前文所述后定位测座(17)和径向测座(18)间接固定在本体(15)上的方式,所述直线位移方向与前定位元件(11)和后定位元件(12)中心距为其零位中心距时的前定位元件(11)和后定位元件(12)中心线方向相同。

7. 如权利要求 6 所述的用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置,其特征在于,所述前定位元件(11)和后定位元件(12)分别设置一系列直径不同的圆柱体或球体作为附件,能够更换。

8. 如权利要求 6 所述的用于大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量的装置，其特征在于，当所述前定位元件(11)和后定位元件(12)都为一个圆柱体时，其中一个圆柱体长度很短，而另一个圆柱体相对较长。

一种大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量装置

技术领域

[0001] 本发明涉及大型直齿圆柱齿轮齿距偏差的测量器具，属于长度计量领域。

背景技术

[0002] 齿距偏差关系到齿轮工作的传动精度和平稳性，是重要的齿轮精度参数。齿距偏差通常采用一种齿距仪(周节仪)测量，该仪器在采用两个支脚定位于被测齿轮的齿顶圆或齿根圆的同时，使一个固定量爪与被测齿轮的一个齿面接触，另一个活动量爪与相邻齿同侧齿面接触，一个量表指示出活动量爪位置的变动，通过一定的数据处理即可得到齿距偏差。因为需要两个支脚和一个固定量爪同时与被测齿轮接触，接触状态又不稳定，所以操作需要十分仔细，而大型齿轮通常齿数多，模数大，仪器重，因而测量结果的重复性往往很差，测量精度得不到保证。

发明内容

[0003] 技术问题：为解决上述问题，本发明公开了一种大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量装置，用于大型直齿圆柱齿轮的齿距偏差测量，其技术方案基于相同的基本原理，但测量方法略有不同而分成两个方案：

[0004] 技术方案：本发明的一种大型直齿圆柱齿轮齿距偏差测量装置，在第一种方案中，当用于奇数齿齿轮齿距偏差测量时，所述装置包含一个前定位元件、一个后定位元件、一个中心距测量表头、一个径向测量表头、一个杠杆机构以及一个作为装配基准的本体；当用于偶数齿齿轮齿距偏差测量时，所述装置还包含一个独立的齿间测量附件，其中，所述前定位元件为一个圆柱体或一个球体，所述后定位元件亦为一个圆柱体或一个球体，它们的直径相同，但前定位元件和后定位元件不同时为一个球体；所述中心距测量表头和径向测量表头都为一个直线位移测量装置；所述前定位元件和后定位元件位于本体同侧，而且，当前定位元件和后定位元件都为一个圆柱体时，它们的轴线平行；所述后定位元件直接或间接固定连接在本体上；所述杠杆机构包含一个杠杆，杠杆的杠杆一端与前定位元件固定连接，通过一个转动副将杠杆与本体连接在一起，其中，转动副轴线与前定位元件和后定位元件中为圆柱体的前定位元件或后定位元件轴线平行，而且，当前定位元件随着杠杆围绕转动副轴线转动从而改变前定位元件和后定位元件的中心距时，存在这样一个位置，前定位元件轴线或球心的瞬时运动方向与此时前定位元件和后定位元件中心线方向相同，定义此时前定位元件和后定位元件的中心距为其零位中心距；所述中心距测量表头固定连接在本体上，其测量轴线与杠杆的杠杆另一端相交，而且，当前定位元件和后定位元件的中心距为其零位中心距时，中心距测量表头测量轴线垂直于此时前定位元件轴线或球心与转动副轴线的中心线，能够测得前定位元件和后定位元件在其零位中心距附近的中心距改变量；所述径向测量表头通过锁紧方式直接或间接固定连接在本体上并在锁紧松开后可以沿其测量轴线方向改变位置，径向测量表头位于前定位元件和后定位元件之间，其测量轴线与前定位元件和后定位元件中为圆柱体的前定位元件或后定位元件轴线异面垂直，而且，当前定

位元件和后定位元件的中心距为其零位中心距时,径向测量表头测量轴线垂直相交于此时前定位元件和后定位元件中心线的中点。

[0005] 为适应不同模数、齿数、变位系数,以及不同测量方法等情况采用同一套测量装置的需要,前定位元件和后定位元件的零位中心距需要能够调整,为此,在所述后定位元件上固定连接一个后定位测座,在所述径向测量表头上固定连接一个径向测座,其中,所述后定位测座和径向测座与本体分别成沿同一方向的直线位移滑动配合连接并能够与本体锁紧,当此处后定位测座和径向测座与本体锁紧时即为所述后定位测座和径向测座间接固定在本体上的一种方式,所述直线位移方向与前定位元件和后定位元件中心距为其零位中心距时的前定位元件和后定位元件中心线方向相同。

[0006] 为适应不同模数和变位系数齿轮采用同一套测量装置的需要,所述前定位元件和后定位元件分别设置一系列直径不同的圆柱体或球体作为附件,能够更换。

[0007] 当所述前定位元件和后定位元件都为一个圆柱体时,为减小制造时前定位元件和后定位元件轴线的平行度误差或被测齿轮齿向平行度误差对测量结果的影响,其中一个圆柱体长度很短,而另一个圆柱体相对较长。

[0008] 当用于偶数齿齿轮齿距偏差测量时,所述装置所设置的齿间测量附件包含一个齿间定位元件和一个齿间测量表头,其中,所述齿间定位元件为一个圆柱体,齿间测量表头为一个直线位移测量装置;所述齿间测量表头固定连接在齿间定位元件上,其测量轴线垂直相交于齿间定位元件轴线。

[0009] 在第二种方案中,所述装置包含一个前定位元件、一个后定位元件、一个中心距测量表头、一个径向测量表头、一个杠杆机构、一个后定位测座、一个径向测座以及一个作为装配基准的本体,其中,所述前定位元件为一个圆柱体或一个球体,所述后定位元件亦为一个圆柱体或一个球体,它们的直径相同,但前定位元件和后定位元件不同时为一个球体;所述中心距测量表头和径向测量表头都为一个直线位移测量装置;所述前定位元件和后定位元件位于本体同侧,而且,当前定位元件和后定位元件都为一个圆柱体时,它们的轴线平行;所述后定位元件间接固定连接在本体上;所述杠杆机构包含一个杠杆,杠杆的杠杆一端与前定位元件固定连接,通过一个转动副将杠杆与本体连接在一起,其中,转动副轴线与前定位元件和后定位元件中为圆柱体的前定位元件或后定位元件轴线平行,而且,当前定位元件随着杠杆围绕转动副轴线转动从而改变前定位元件和后定位元件的中心距时,存在这样一个位置,前定位元件轴线或球心的瞬时运动方向与此时前定位元件和后定位元件中心线方向相同,定义此时前定位元件和后定位元件的中心距为其零位中心距;所述中心距测量表头固定连接在本体上,其测量轴线与杠杆的杠杆另一端相交,而且,当前定位元件和后定位元件的中心距为其零位中心距时,中心距测量表头测量轴线垂直于此时前定位元件轴线或球心与转动副轴线的中心线,能够测得前定位元件和后定位元件在其零位中心距附近的中心距改变量;所述径向测量表头通过锁紧方式间接固定连接在本体上并在锁紧松开后可以沿其测量轴线方向改变位置,径向测量表头位于前定位元件和后定位元件之间,其测量轴线与前定位元件和后定位元件中为圆柱体的前定位元件或后定位元件轴线异面垂直,而且,当前定位元件和后定位元件的中心距为其零位中心距时,径向测量表头测量轴线垂直相交于此时前定位元件和后定位元件中心线的中点;

[0010] 在所述后定位元件上固定连接后定位测座,在所述径向测量表头上固定连接径向

测座，其中，所述后定位测座和径向测座与本体分别成沿同一方向的直线位移滑动配合连接并能够与本体锁紧，当此处后定位测座和径向测座与本体锁紧时即为前文所述后定位测座和径向测座间接固定在本体上的方式，所述直线位移方向与前定位元件和后定位元件中心距为其零位中心距时的前定位元件和后定位元件中心线方向相同。

[0011] 所述前定位元件和后定位元件分别设置一系列直径不同的圆柱体或球体作为附件，能够更换。

[0012] 当所述前定位元件和后定位元件都为一个圆柱体时，其中一个圆柱体长度很短，而另一个圆柱体相对较长。

[0013] 技术方案一和技术方案二的区别一是后者没有齿间测量附件，二是技术方案一可以、也可以不包含后定位测座和径向测座，后定位元件和径向测量表头可以直接、也可以间接固定连接在本体上，而技术方案二则必须包含后定位测座和径向测座，而且，后定位元件与后定位测座固定连接，通过锁紧后定位测座与本体使后定位元件间接固定连接在本体上，径向测量表头与径向测座固定连接，通过锁紧径向测座与本体使径向测量表头间接固定连接在本体上。

[0014] 本发明测量装置的测量方法属于间接测量，需要根据具体所采用的测量方法和这种测量方法所形成的测量装置与被测齿轮的几何关系，由测量装置的参数、被测齿轮的类型和参数，以及测量读数建立起相应的数学方程式解出被测齿轮的齿距偏差。

[0015] 有益效果：本发明测量装置测量时，无论采用什么技术方案和方法，基本的操作都是将二个定位元件卡于被测齿轮的两个齿间中，接触状态稳定乃至无需观察接触情况，直接读数即可，因而操作简单，测量数据的重复性大为改善，保证了测量精度。另外，本发明测量装置还具有一次测量可以同时得到两侧齿面齿距偏差的优点。

附图说明

- [0016] 图 1 是本发明实施例测量内齿轮时正视图；
- [0017] 图 2 是图 1A-A 截面 2 倍剖视图；
- [0018] 图 3 是图 1B-B 截面 2 倍剖视图；
- [0019] 图 4 是图 1C-C 截面 2 倍剖视图；
- [0020] 图 5 是图 1D-D 截面 2 倍剖视图；
- [0021] 图 6 是本发明实施例齿间测量附件测量内齿轮时正视图；
- [0022] 图 7 是图 6A-A 截面 2 倍剖视图；
- [0023] 图 8 是本发明实施例测量方法例 1 测量示意图；
- [0024] 图 9 是左侧齿面齿距示意图；
- [0025] 图 10 是本发明实施例测量方法例 1 公式中代号 α_q 、 α_k 和 r_q 示意图；
- [0026] 图 11 是本发明实施例测量方法例 1 齿间测量附件测量示意图；
- [0027] 图 12 是本发明实施例测量方法例 2 测量示意图。
- [0028] 附图标号说明：11- 前定位元件；12- 后定位元件；13- 中心距测量表头；131- 中心距测量表头安装轴；14- 径向测量表头；141- 径向测量表头安装轴；15- 本体；151- 本体方孔；152- 本体转动副孔；153- 本体轴；1531- 本体键槽；1532- 本体轴长孔；16- 杠杆机构；161- 杠杆；1611- 杠杆一端；1612- 杠杆另一端；1613- 杠杆转动副孔；162- 杠杆转动

副；1621- 杠杆转动副轴；16211- 杠杆转动副轴 1621 的中间部位轴；16212- 杠杆转动副轴 1621 的两侧部位轴；1622- 杠杆转动副滚动轴承；17- 后定位测座；171- 后定位测座环；1711- 后定位测座滑移孔；1712- 后定位测座键槽；172- 后定位测座导向键；173- 后定位测座锁紧螺钉；18- 径向测座；181- 径向测座环；1811- 径向测座滑移孔；1812- 径向测座键槽；1813- 径向测量表头安装孔；182- 径向测座导向键；183- 径向测座锁紧螺钉；184- 径向测量表头锁紧螺钉；19- 中心距测量表头支座；191- 中心距测量表头安装孔；192- 中心距测量表头锁紧螺钉；3- 齿间测量附件；31- 齿间定位元件；311- 齿间测量表头安装孔；32- 齿间测量表头；321- 齿间测量表头安装轴；33- 齿间测量表头锁紧螺钉。

具体实施方式

[0029] 如图 1 所示,针对技术方案一,当用于奇数齿齿轮齿距偏差测量时,本发明实施例装置包含一个前定位元件 11、一个后定位元件 12、一个中心距测量表头 13、一个径向测量表头 14、一个杠杆机构 16 以及一个作为装配基准的本体 15;当用于偶数齿齿轮齿距偏差测量时,本发明实施例装置还包含一个独立的齿间测量附件 3,其中,所述前定位元件 11 和后定位元件 12 都为一个圆柱体(出于连接等原因,去除了部分对测量定位不起作用的圆柱体表面),它们的直径相同;所述中心距测量表头 3 和径向测量表头 14 都为一个数显千分表;所述前定位元件 11 和后定位元件 12 位于本体 15 同侧,它们的轴线平行;所述后定位元件 12 直接或间接固定连接在本体 15 上;所述杠杆机构 16 包含一个杠杆 161,杠杆 161 的杠杆一端 1611 与前定位元件 11 固定连接,通过一个转动副 162 将杠杆 161 与本体 15 连接在一起,其中,转动副 162 轴线与前定位元件 11 和后定位元件 12 轴线平行,而且,当前定位元件 11 随着杠杆 161 围绕转动副 162 轴线转动从而改变前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距时,存在这样一个位置,前定位元件 11 轴线的瞬时运动方向与此时前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线方向相同,此时前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距即为其零位中心距;所述中心距测量表头 13 固定连接在本体 15 上,其测量轴线与杠杆 161 的杠杆另一端 1612 相交,而且,当前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距时,中心距测量表头 13 测量轴线垂直于此时前定位元件 11 轴线与转动副 162 轴线的中心线,能够测得前定位元件 11 和后定位元件 12 在其零位中心距附近的中心距改变量;所述径向测量表头 14 通过锁紧方式直接或间接固定连接在本体 15 上并在锁紧松开后可以沿其测量轴线方向改变位置,径向测量表头 14 位于前定位元件 11 和后定位元件 12 之间,其测量轴线与前定位元件 11 和后定位元件 12 轴线异面垂直,而且,当前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距时,径向测量表头 14 测量轴线垂直相交于此时前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线的中点。

[0030] 如图 1、2 和 3 所示,作为本发明实施例装置杠杆机构 16 的结构及其如上所述与装置其它部分的关系,其具体实现方式是:第一,本体 15 上开有一个为方孔的本体方孔 151,其轴线垂直于前定位元件 11 和后定位元件 12 中心距为其零位中心距时的前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线,杠杆 161 沿本体方孔 151 轴线方向置于本体方孔 151 之中并有足够大的间隙;第二,杠杆 161 中间部位开有一个为孔的杠杆转动副孔 1613,与一个为阶梯轴的杠杆转动副轴 1621 的中间部位轴 16211 成过盈配合连接;第三,两个相同直径的杠杆转动副轴 1621 的两侧部位轴 16212 分别与两个为相同滚动轴承的杠杆转动副滚动轴承 1622

内圈成过渡配合连接；第四，两个杠杆转动副滚动轴承 1622 外圈分别与本体 15 上的两个为同轴的孔的本体转动副孔 152 成过渡配合连接，其中，两个本体转动副孔 152 的轴线与本体方孔 151 轴线垂直相交，这样，杠杆转动副孔 1613、杠杆转动副轴 1621、两个杠杆转动副滚动轴承 1622 和两个本体转动副孔 152 共同组成以两个本体转动副孔 152 轴线为轴线的转动副 162，将杠杆 161 与本体 15 连接在一起；第五，前定位元件 11 与杠杆 161 一端 1611 采用螺纹连接方式连接在这样一个位置，当前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距时，其与转动副 162 的中心线与本体方孔 151 轴线重合；第六，作为中心距测量表头 13 的数显千分表上有一个与其测量轴线同轴的、为其安装轴的齿间测量表头安装轴 131，一个采用过盈配合方式连接在本体 15 上的中心距测量表头支座 19 上开有一作为孔的中心距测量表头安装孔 191，当前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距时，中心距测量表头安装孔 191 轴线与此时前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线同向，而且，与杠杆 161 杠杆另一端 1612 相交，使齿间测量表头安装轴 131 与中心距测量表头安装孔 191 成间隙配合并使中心距测量表头 13 测头与杠杆 161 另一端 1612 接触，然后通过作为锁紧螺钉的中心距测量表头锁紧螺钉 192 将中心距测量表头 13 锁紧在中心距测量表头支座 19 上，从而间接固定在本体 15 上。显然，当前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距时，中心距测量表头 13 测量轴线垂直于前定位元件 11 和转动副 162 的中心线，而且，当杠杆 161 围绕转动副 162 轴线转动时，因为杠杆 161 与本体方孔 151 之间间隙的存在，前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距在其零位中心距附近能够改变，而这个改变量能够由中心距测量表头 13 测得。

[0031] 如图 1、2、4 和 5 所示，本发明实施例装置设置一个后定位元件 12 固定连接于其上的后定位测座 17 和一个径向测量表头 14 固定连接于其上的径向测座 18，其中，后定位测座 17 和径向测座 18 与本体 15 分别成沿同一方向的直线位移滑动配合连接并能够与本体 15 锁紧，所述直线位移方向与前定位元件 11 和后定位元件 12 中心距为其零位中心距时的前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线方向相同，具体实现方式是：第一，后定位测座 17 和径向测座 18 上分别包含一后定位测座环 171 和径向测座环 181，它们上分别开有一为孔的后定位测座滑移孔 1711 和一为孔的径向测座滑移孔 1811，本体 15 上制有一为轴的本体轴 153，本体轴 153 的轴线与前定位元件 11 和后定位元件 12 中心距为其零位中心距时的前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线方向相同，后定位测座滑移孔 1711 和径向测座滑移孔 1811 与本体轴 153 成间隙配合连接；第二，后定位测座 17 和径向测座 18 上分别在后定位测座滑移孔 1711 和径向测座滑移孔 1811 上开有一为矩形键槽的后定位测座键槽 1712 和一为矩形键槽的径向测座键槽 1812，本体轴 153 上开有一为矩形键槽的本体键槽 1531，采用一为矩形键的后定位测座导向键 172 和一为矩形键的径向测座导向键 182 分别与后定位测座键槽 1712 和径向测座键槽 1812 成过盈配合连接，而与本体键槽 1531 成间隙配合连接。显然，这两项措施保证了后定位测座 17 和径向测座 18 与本体 15 成直线位移滑动配合连接，所述直线位移方向与前定位元件 11 和后定位元件 12 中心距为其零位中心距时的前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线方向相同；第三，后定位测座环 171 和径向测座环 181 上分别连接有作为锁紧螺钉的后定位测座锁紧螺钉 173 和径向测座锁紧螺钉 183，拧紧它们可以将后定位测座 17 和径向测座 18 分别锁紧到本体 15 上，锁紧后的位置需要保证当前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距时，径向测量表头 14 测量轴线垂直

相交于此时前定位元件 11 和后定位元件 12 中心线的中点。最后,说明后定位元件 12 和径向测量表头 14 分别连接到后定位测座 17 和径向测座 18、从而间接固定连接到本体 15 上的方式:如图 4 所示,后定位元件 12 采用螺纹连接方式连接到后定位测座连接块 173 上,后定位测座连接块 173 也采用螺纹连接方式连接到后定位测座环 171 上;如图 2 和 5 所示,作为径向测量表头 14 的数显千分表上有一个与其测量轴线同轴的、为其安装轴的径向测量表头安装轴 141,径向测座环 181 开有一为孔的径向测量表头安装孔 1813,该孔轴线与径向测座键槽 1812 方向异面垂直,并与径向测座滑移孔 1811 轴线垂直相交,径向测量表头安装轴 141 与径向测量表头安装孔 1813 成间隙配合连接,再通过锁紧作为锁紧螺钉的径向测量表头锁紧螺钉 184 能够将径向测量表头 14 锁紧并固定在径向测座环 181 上,这一结构使得径向测量表头 14 在其测量轴线方向可以调整其在径向测座 18 上的位置。此外,为了保证径向测量表头 14 在随径向测座 18 在本体轴 153 上滑移时不与本体轴 153 发生干涉,在本体轴 153 上开有一为长孔的本体轴长孔 1532。

[0032] 如图 2 和 3 所示,本发明实施例装置前定位元件 11 轴线长度 L1 很短,而后定位元件 12 轴线长度 L2 相对较长。

[0033] 根据规定,齿距偏差测量时要求定位元件与轮齿接触在齿高中部附近,因此,针对不同模数和变位系数的齿轮,前定位元件 11 和后定位元件 12 的直径需要改变,为了采用同一套测量装置,本发明实施例装置前定位元件 11 和后定位元件 12 设置了一系列直径不同的圆柱体作为附件,以备更换。

[0034] 如图 6 和 7 所示,本发明实施例装置所设置的齿间测量附件 3 包含一个齿间定位元件 31 和一个齿间测量表头 32,其中,齿间定位元件 31 为一个圆柱体(出于连接等原因,去除了部分对测量定位不起作用的圆柱体表面),齿间测量表头 32 为一个数显千分表;齿间测量表头 32 固定连接在齿间定位元件 31 上,其测量轴线垂直相交于齿间定位元件 31 轴线,具体实现方式是:作为齿间测量表头 32 的数显千分表有一个与其测量轴线同轴的、为其安装轴的齿间测量表头安装轴 321,在齿间定位元件 31 上开有一为孔的齿间测量表头安装孔 311,其轴线垂直相交于齿间定位元件 31 轴线,这样,使该齿间测量表头安装轴 321 与齿间测量表头安装孔 311 成间隙配合即可保证齿间测量表头 32 测量轴线垂直相交于齿间定位元件 31 轴线。此外,通过锁紧作为锁紧螺钉的齿间测量表头锁紧螺钉 33 能够将齿间测量表头 32 固定在齿间定位元件 31 上,这一结构使得齿间测量表头 32 在其测量轴线方向可以调整其在齿间定位元件 31 上的位置。

[0035] 针对技术方案二的本发明实施例装置,除了不包含齿间测量附件 3 外,与针对技术方案一的本发明实施例装置完全相同。

[0036] 本发明实施例装置的测量方法属于间接测量,需要根据具体所采用的测量方法和这种测量方法所形成的测量装置与被测齿轮的几何关系,由测量装置的参数、被测齿轮的类型和参数,以及测量读数建立起相应的数学方程式解出被测齿轮的齿距偏差。下面分别针对技术方案一和技术方案二以两个例子予以说明。

[0037] 第一个例子针对技术方案一,被测齿轮是标准渐开线直齿圆柱外齿轮,测量并计算其左侧齿面(为方便叙述,本文规定,正对齿轮观察时,与最上面的轮齿的左侧齿面沿齿轮转动方向同侧的轮齿齿面为齿轮的左侧齿面)齿距偏差。如图 8 所示示意图,操作方法是:首先,将被测齿轮轮齿排序,为 1, 2, …, n, 其中 n 为被测齿轮的齿数;其次,将直径设为

d_p 的前定位元件 11 卡于被测齿轮第 n 齿与第 1 齿之间, 直径亦为 d_p 的后定位元件 12 卡于第 1 齿和第 2 齿之间, 使得前定位元件 11 圆柱面与第 n 齿和第 1 齿的相邻齿面相切, 后定位元件 12 圆柱面与第 1 齿与第 2 齿的相邻齿面相切, 调整后定位测座 17 和径向测座 18 在本体 15 上的位置, 使得此时前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距, 径向测量表头 14 测量轴线与前定位元件 11 轴线的中心距则为该零位中心距一半, 锁紧后定位测座 17 和径向测座 18, 然后, 调整径向测量表头 14 在其测量轴线方向的位置, 使其测头与被测齿轮齿顶圆接触, 锁紧径向测量表头 14, 读取此时中心距测量表头 13 和径向测量表头 14 的读数, 分别记为 Δl_{t1} 和 Δh_{t1} ; 再次, 将前定位元件 11 卡于被测齿轮第 1 齿与第 2 齿之间, 后定位元件 12 卡于第 2 齿与第 3 齿之间, 使得前定位元件 11 圆柱面与第 1 齿与第 2 齿的相邻齿面相切, 后定位元件 12 圆柱面与第 2 齿与第 3 齿的相邻齿面相切, 径向测量表头 14 测头与被测齿轮齿顶圆接触, 读取此时中心距测量表头 13 和径向测量表头 14 的读数, 分别记为 Δl_{t2} 和 Δh_{t2} ; 以此类推, 最后, 将前定位元件 11 卡于被测齿轮第 n-1 齿与第 n 齿之间, 后定位元件 12 卡于第 n 齿与第 1 齿之间, 使得前定位元件 11 圆柱面与第 n-1 齿与第 n 齿的相邻齿面相切, 后定位元件 12 圆柱面与第 n 齿与第 1 齿的相邻齿面相切, 径向测量表头 14 测头与被测齿轮齿顶圆接触, 读取此时中心距测量表头 13 和径向测量表头 14 的

读数, 分别记为 Δl_{tn} 和 Δh_{tn} 。设被测齿轮模数为 m, 齿数为 z, 压力角为 α , 记 $\Delta L_t = \begin{pmatrix} \Delta l_{t1} \\ \Delta l_{t2} \\ \dots \\ \Delta l_{tn} \end{pmatrix}$,

$$\Delta H_t = \begin{pmatrix} \Delta h_{t1} \\ \Delta h_{t2} \\ \dots \\ \Delta h_{tn} \end{pmatrix}, I = \begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 \end{pmatrix}_{n \times n}, I^{\dagger t} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix}_{n \times n}$$

[0038] 如图 9 所示, 又记

$$[0039] \quad \Delta P_L = \begin{pmatrix} \Delta p_{L1,2} \\ \Delta p_{L2,3} \\ \dots \\ \Delta p_{Ln,1} \end{pmatrix}$$

[0040] 其中, $p_{L1,2}$ 为第 1 齿与第 2 齿左侧齿面在分度圆上的齿距, $\Delta p_{L1,2}$ 为其齿距偏差, $p_{L2,3}$ 为第 2 齿与第 3 齿左侧齿面在分度圆上的齿距, $\Delta p_{L2,3}$ 为其齿距偏差, 以此类推, 最后, $p_{Ln,1}$ 为第 n 齿与第 1 齿左侧齿面在分度圆上的齿距, $\Delta p_{Ln,1}$ 为其齿距偏差, 则由以下方程可以求出齿数为奇数时的被测齿轮左侧齿面的齿距偏差:

$$[0041] \quad \Delta P_L = \Delta P_L^* - \frac{(1, 2, \dots, n) \Delta P_L^*}{n} \quad (1)$$

[0042] 其中,

$$[0043] \quad \Delta P_L^* = \Delta Q_t - (I^{\dagger t} - I) \frac{\Delta E}{2} \quad (2)$$

$$[0044] \quad \Delta E = -\frac{2 \sin \alpha_q}{\cos \alpha} \Delta R_q \quad (3)$$

$$[0045] \quad \Delta Q_t = -\frac{mz \tan \frac{\pi}{z}}{2r_q} (I^{\downarrow 1} + I) \Delta R_q + \frac{mz}{2r_q \cos \frac{\pi}{z}} \Delta L_t \quad (4)$$

$$[0046] \quad \Delta R_q = -(I^{\downarrow 1} + I)^{-1} \left(2 \cos \frac{\pi}{z} \Delta H_t - \sin \frac{\pi}{z} \Delta L_t \right) \quad (5)$$

[0047] 其中,如图 10 所示, α_q 为 \overline{OQ} 与 \overline{OB} 之间的夹角, r_q 为 \overline{OQ} 的长度,其中, Q 为卡于假定不存在齿距偏差的被测齿轮任意两齿之间的、直径为 d_p 的圆的圆心,该圆与卡于其中的两齿相邻齿面相切,K 为其中的一个切点,O 为被测齿轮基圆圆心, \overline{QB} 为被测齿轮基圆切线,B 为切点,其中, α_q 和 r_q 可解如下方程组求出:

$$[0048] \quad r_q = \frac{mz \cos \alpha}{2 \cos \alpha_q} \quad (6)$$

$$[0049] \quad \alpha_q = \tan \alpha_k - \tan \alpha + \alpha + \frac{\pi}{2z} \quad (7)$$

$$[0050] \quad mz \cos \alpha \tan \alpha_q - d_p = mz \cos \alpha \tan \alpha_k \quad (8)$$

[0051] 其中,如图 10 所示, α_k 为 \overline{OK} 与 \overline{OB} 之间的夹角。

[0052] 当被测齿轮齿数为偶数时,因为式(5)中的矩阵 $I^{\downarrow 1}+I$ 秩为 $n-1$,其逆不存在,所以无解。为解决这一问题,需要使用齿间测量附件 3。如图 11 所示,一种方法是:将直径亦取为 d_p 的齿间定位元件 31 卡于被测齿轮按前述轮齿序号第 n 齿和第 1 齿之间,使其与第 n 齿和第 1 齿的相邻齿面相切,同时,调整齿间测量表头 32 在其测量轴线方向的位置,使其测头与被测齿轮齿根圆接触,锁紧齿间测量表头 32,围绕齿间定位元件 31 轴线左右稍许转动整个齿间测量附件 3,读取齿间测量表头 32 在此期间的最小读数,记为 $\Delta h_{en,1}$;然后,将齿间定位元件 31 卡于被测齿轮第 1 齿和第 2 齿之间,使其与第 1 齿和第 2 齿的相邻齿面相切,同时,使齿间测量表头 32 测头与被测齿轮齿根圆接触,围绕齿间定位元件 31 轴线左右稍许转动整个齿间测量附件 3,读取齿间测量表头 32 在此期间的最小读数,记为 $\Delta h_{e1,2}$,又记

$$[0053] \quad C = \begin{pmatrix} -2 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 0 \end{pmatrix}_{n \times n}, D = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & \cdots & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{pmatrix}_{n \times n}, v = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix}_{n \times 1}$$

[0054] 则以下式替换式(5)即可求出齿数为偶数时的被测齿轮左侧齿面的齿距偏差:

$$[0055] \quad \Delta R_q = -(I^{\downarrow 1} + I + C)^{-1} \left(2 \cos \frac{\pi}{z} D \Delta H_t - \sin \frac{\pi}{z} D \Delta L_t - (\Delta h_{en,1} - \Delta h_{e1,2}) v \right) \quad (9)$$

[0056] 第二个例子针对技术方案二,被测齿轮亦是标准渐开线直齿圆柱外齿轮,测量并计算其左侧齿面的齿距偏差。如图 12 所示示意图,操作方法是:首先,将被测齿轮轮齿排序,为 1, 2, ..., n, 其中 n 为被测齿轮的齿数;其次,将前定位元件 11 卡于被测齿轮第 n 齿与第 1 齿之间,后定位元件 12 卡于第 2 齿与第 3 齿之间,使得前定位元件 11 圆柱面与第 n 齿

和第 1 齿的相邻齿面相切,后定位元件 12 圆柱面与第 2 齿与第 3 齿的相邻齿面相切,调整后定位测座 17 和径向测座 18 在本体 15 上的位置,使得此时前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距,径向测量表头 14 测量轴线与前定位元件 11 轴线的中心距则为该零位中心距一半,锁紧后定位测座 17 和径向测座 18,然后,调整径向测量表头 14 在其测量轴线方向的位置,使其测头与被测齿轮齿根圆接触,锁紧径向测量表头 14,读取此时中心距测量表头 13 和径向测量表头 14 的读数,分别记为 $\Delta l_{2t1,2}$ 和 $\Delta h_{2t1,2}$;再次,将前定位元件 11 卡于被测齿轮第 1 齿与第 2 齿之间,后定位元件 12 卡于第 3 齿与第 4 齿之间,使得前定位元件 11 圆柱面与第 1 齿与第 2 齿的相邻齿面相切,后定位元件 12 圆柱面与第 3 齿与第 4 齿的相邻齿面相切,径向测量表头 14 测头与被测齿轮齿根圆接触,读取此时中心距测量表头 13 和径向测量表头 14 的读数,分别记为 $\Delta l_{2t2,3}$ 和 $\Delta h_{2t2,3}$;以此类推,最后,将前定位元件 11 卡于被测齿轮第 $n-1$ 齿与第 n 齿之间,后定位元件 12 卡于第 1 齿和第 2 齿之间,使得前定位元件 11 圆柱面与第 $n-1$ 齿与第 n 齿的相邻齿面相切,后定位元件 12 圆柱面与第 1 齿和第 2 齿的相邻齿面相切,径向测量表头 14 测头与被测齿轮齿根圆接触,读取此时中心

距测量表头 13 和径向测量表头 14 的读数,分别记为 $\Delta l_{2tn,1}$ 和 $\Delta h_{2tn,1}$ 。记 $\Delta L_{2t} = \begin{pmatrix} \Delta l_{2t1,2} \\ \Delta l_{2t2,3} \\ \dots \\ \Delta l_{2tn,1} \end{pmatrix}$,

$$\Delta H_{2t} = \begin{pmatrix} \Delta h_{2t1,2} \\ \Delta h_{2t2,3} \\ \dots \\ \Delta h_{2tn,1} \end{pmatrix}, I^{\uparrow 1} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \end{pmatrix}_{n \times n},$$

[0057] 可以由下式求出齿数为奇数时的被测齿轮左侧齿面的齿距偏差:

$$[0058] \Delta P_L = \Delta P_L^* - \frac{(1, 2, \dots, n) \Delta P_L^*}{n} \quad (10)$$

[0059] 其中,

$$[0060] \Delta P_L^* = (I^{\downarrow 1} + I^{\uparrow 1})^{-1} \left(\Delta Q_{2t} - (I^{\downarrow 1} - I^{\uparrow 1}) \frac{\Delta E}{2} \right) \quad (11)$$

$$[0061] \Delta E = -\frac{2 \sin \alpha_q}{\cos \alpha} \Delta R_q \quad (12)$$

$$[0062] \Delta Q_{2t} = -\frac{mz \tan \frac{2\pi}{z}}{2r_q} (I^{\downarrow 1} + I^{\uparrow 1}) \Delta R_q + \frac{mz}{2r_q \cos \frac{2\pi}{z}} \Delta L_{2t} \quad (13)$$

$$[0063] \Delta R_q = -(I^{\downarrow 1} + I^{\uparrow 1})^{-1} \left(2 \cos \frac{2\pi}{z} \Delta H_{2t} - \sin \frac{2\pi}{z} \Delta L_{2t} \right) \quad (14)$$

[0064] 其中, ΔP_L 、 I 、 $I^{\downarrow 1}$ 、 m 、 z 、 α 、 α_q 和 r_q 等与前述第一个例子相应代号意义及表达式相同。需要指出,技术方案一中本发明实施例采用这种方法也可以求出齿数为奇数时的被测齿轮左侧齿面的齿距偏差。

[0065] 当被测齿轮的齿数为偶数时,因为式(11)中的矩阵 $I^{\dagger 1}+I$ 秩为 $n-1$,其逆不存在,所以无解。为解决这一问题,参考图8,一种方法是:首先,将前定位元件 11 卡于被测齿轮按前述轮齿序号第 n 齿与第 1 齿之间,后定位元件 12 卡于第 1 齿和第 2 齿之间,使得前定位元件 11 圆柱面与第 n 齿和第 1 齿的相邻齿面相切,后定位元件 12 圆柱面与第 1 齿与第 2 齿的相邻齿面相切,调整后定位测座 17 和径向测座 18 在本体 15 上的位置,使得此时前定位元件 11 和后定位元件 12 的中心距为其零位中心距,锁紧后定位测座 17 和径向测座 18,读取此时中心距测量表头 13 的读数,记为 Δl_{t1} ;其次,将前定位元件 11 卡于被测齿轮第 1 齿与第 2 齿之间,后定位元件 12 卡于第 2 齿与第 3 齿之间,使得前定位元件 11 圆柱面与第 1 齿与第 2 齿的相邻齿面相切,后定位元件 12 圆柱面与第 2 齿与第 3 齿的相邻齿面相切,读取此时中心距测量表头 13 的读数,记为 Δl_{t2} 。以下式替换式(11)即可求出齿数为偶数时的被测齿轮左侧齿面的齿距偏差:

$$[0066] \quad \Delta P_L = (I^{\dagger 1} + I + C)^{-1} \left(D \Delta Q_{2t} - (I^{\dagger 1} - I^{\dagger 1}) \frac{D \Delta E}{2} + (\Delta p_{L2,3}^* - \Delta p_{L1,2}^*) v \right) \quad (15)$$

[0067] 其中,

$$[0068] \quad \Delta p_{L1,2}^* = \Delta q_{n1} - \frac{\Delta e_{n,1}}{2} + \frac{\Delta e_{1,2}}{2} \quad (16)$$

$$[0069] \quad \Delta p_{L2,3}^* = \Delta q_{t2} - \frac{\Delta e_{1,2}}{2} + \frac{\Delta e_{2,3}}{2} \quad (17)$$

$$[0070] \quad \Delta q_{n1} = -\frac{mz \tan \frac{\pi}{z}}{2r_q} (\Delta r_{qn,1} + \Delta r_{q1,2}) + \frac{mz}{2r_q \cos \frac{\pi}{z}} \Delta l_{n1} \quad (18)$$

$$[0071] \quad \Delta q_{t2} = -\frac{mz \tan \frac{\pi}{z}}{2r_q} (\Delta r_{q1,2} + \Delta r_{q2,3}) + \frac{mz}{2r_q \cos \frac{\pi}{z}} \Delta l_{t2} \quad (19)$$

[0072] 其中, C 、 D 和 v 等与前述第一个例子相应代号表达式相同, $\Delta e_{1,2}$ 、 $\Delta e_{2,3}$ 和 $\Delta e_{n,1}$ 分别为按式(12)所计算的 ΔE 列阵中的第 1、2 和 n 项, $\Delta r_{q1,2}$ 、 $\Delta r_{q2,3}$ 和 $\Delta r_{qn,1}$ 分别为按式(14)所计算的 ΔR_q 列阵中的第 1、2 和 n 项。

[0073] 可见,技术方案二解决偶数齿问题并不需要齿间测量附件 3,但装置必须有后定位测座 17 和径向测座 18,因为前定位元件 11 和后定位元件 12 的零位中心距需要改变。

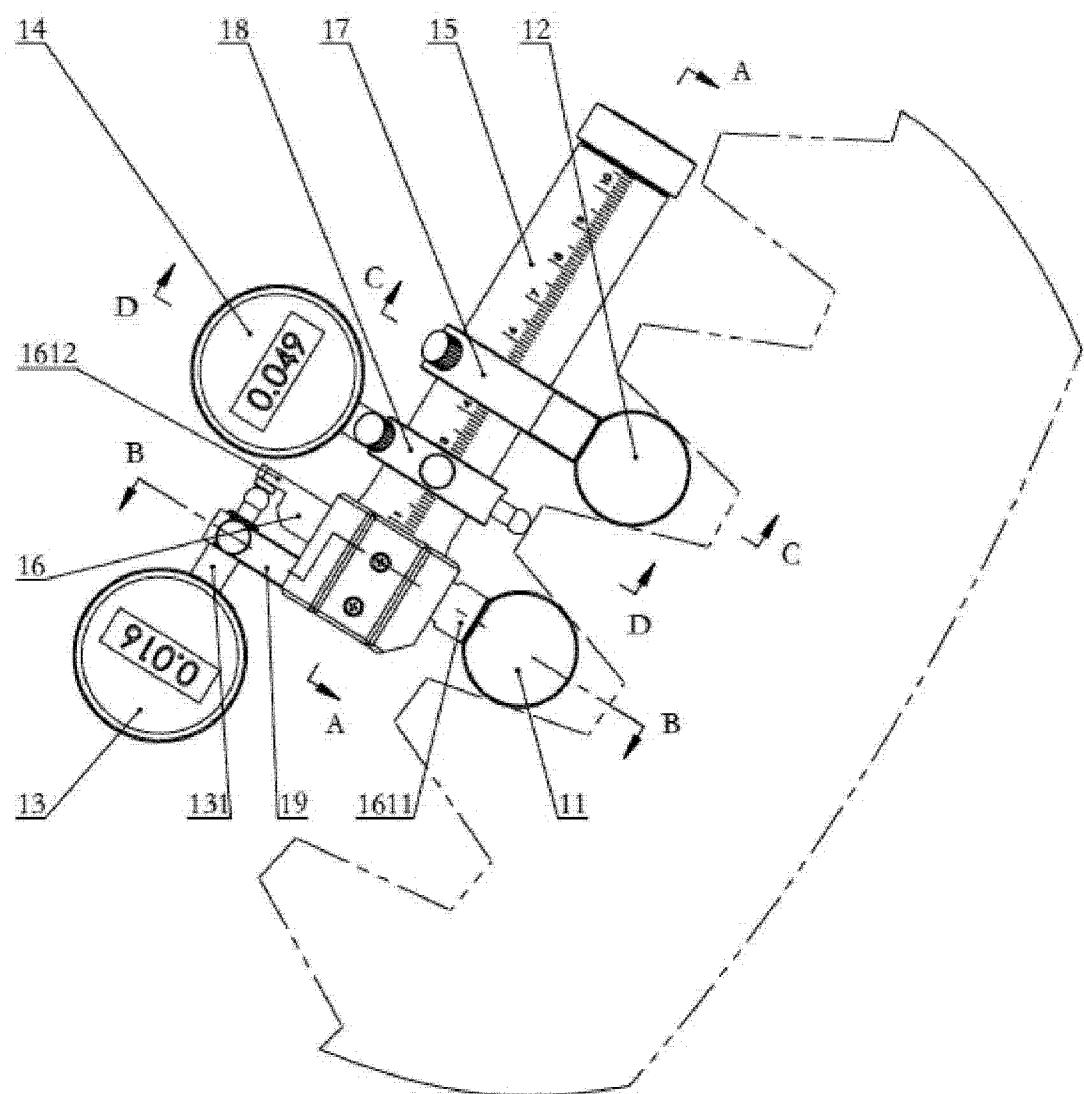


图 1

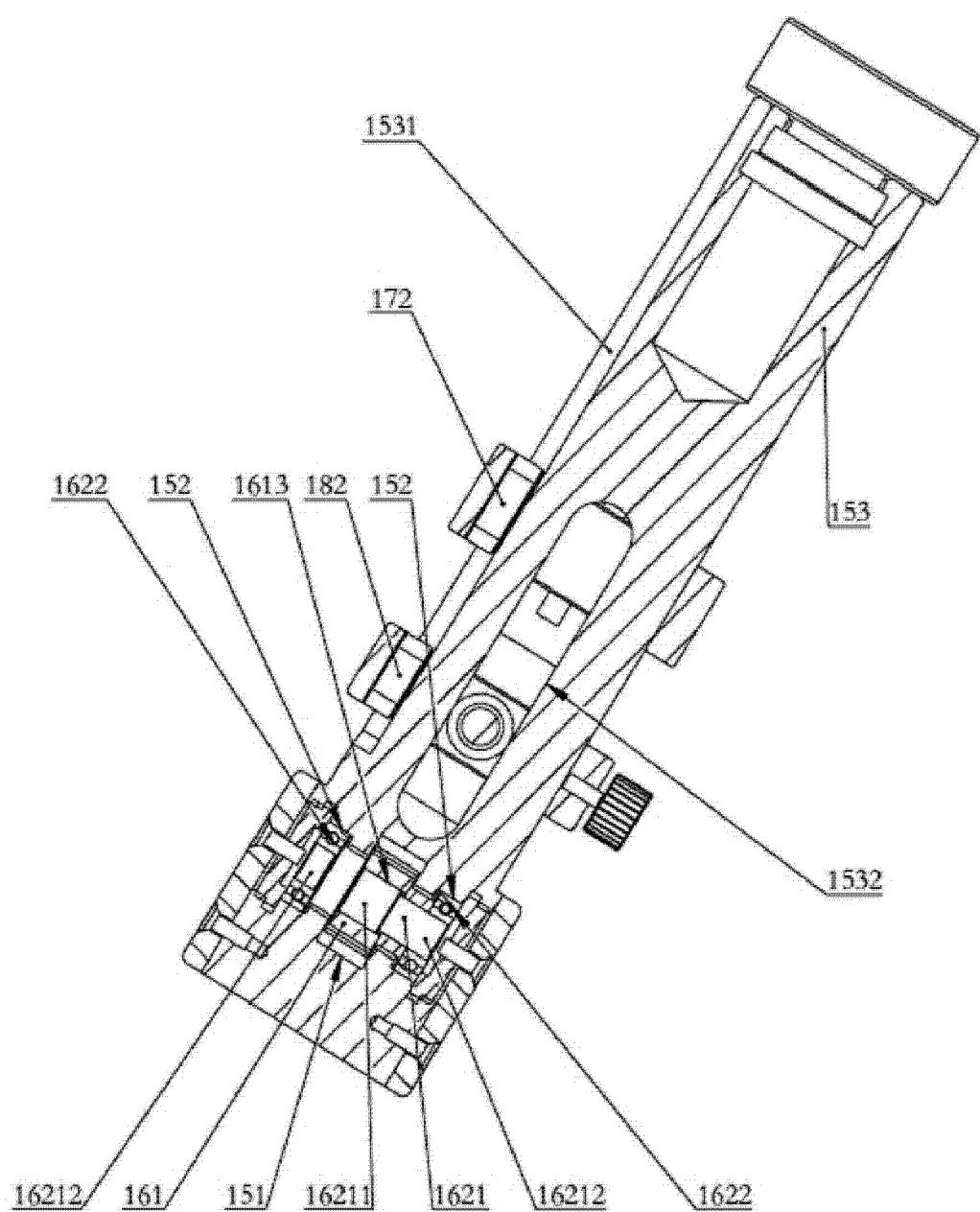


图 2

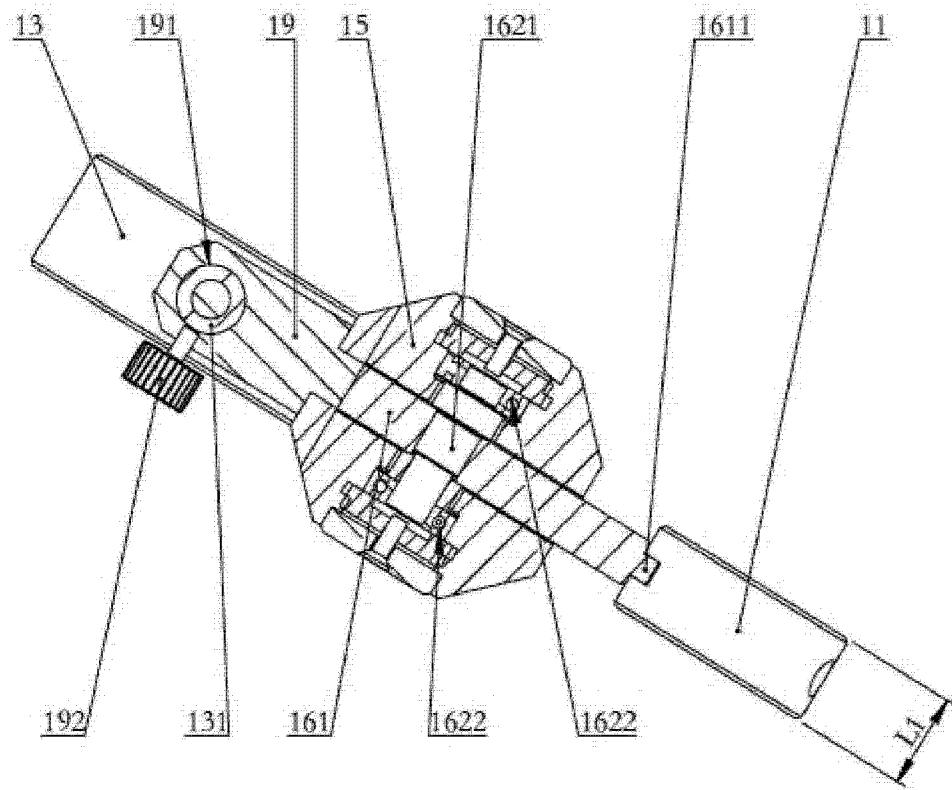


图 3

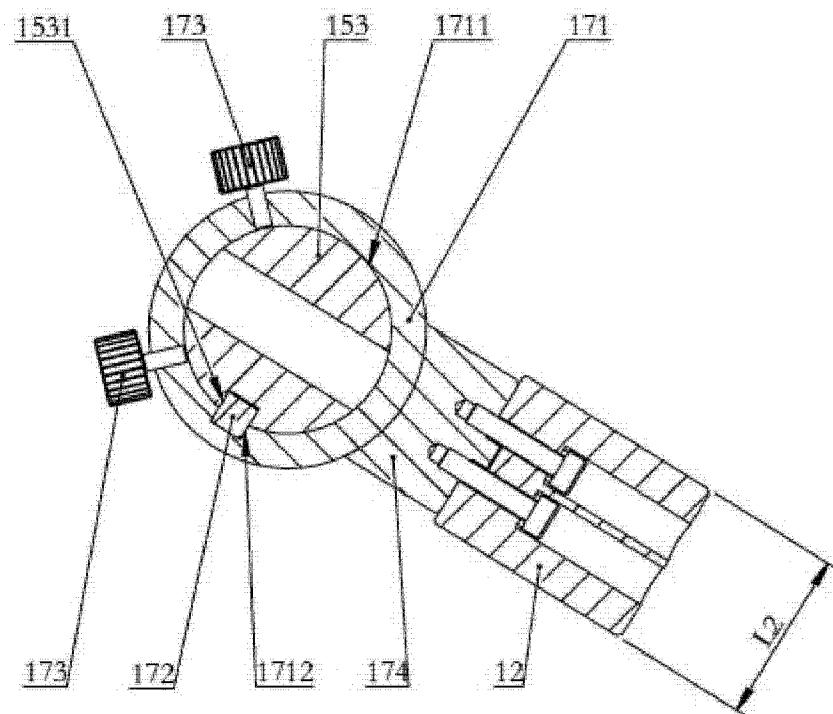


图 4

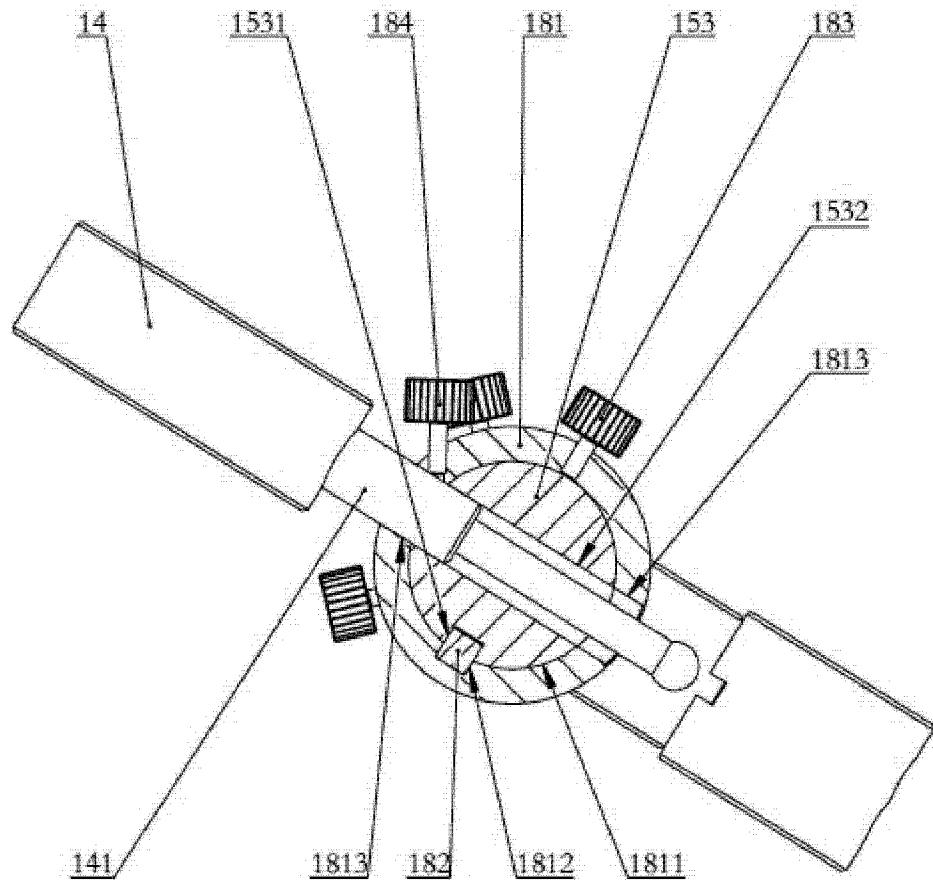


图 5

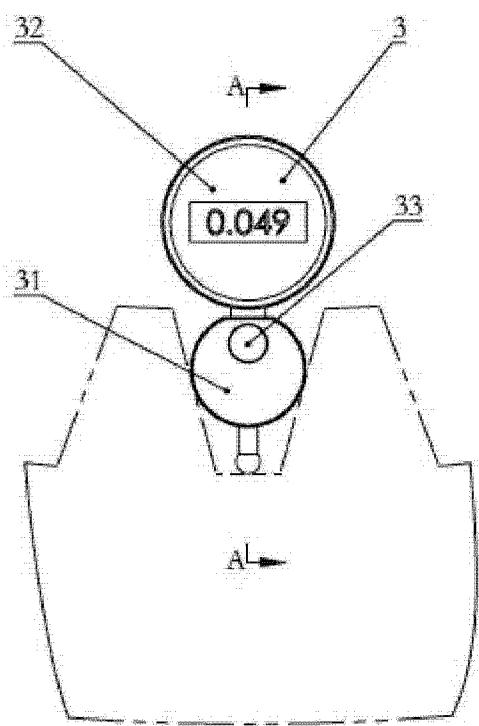


图 6

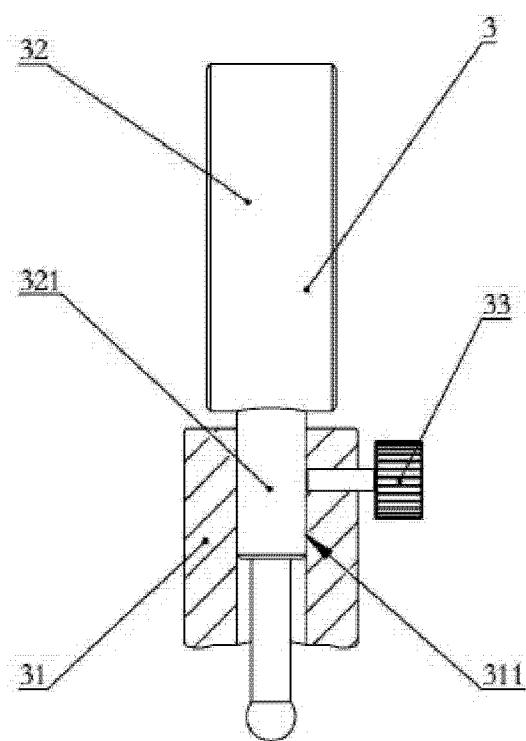


图 7

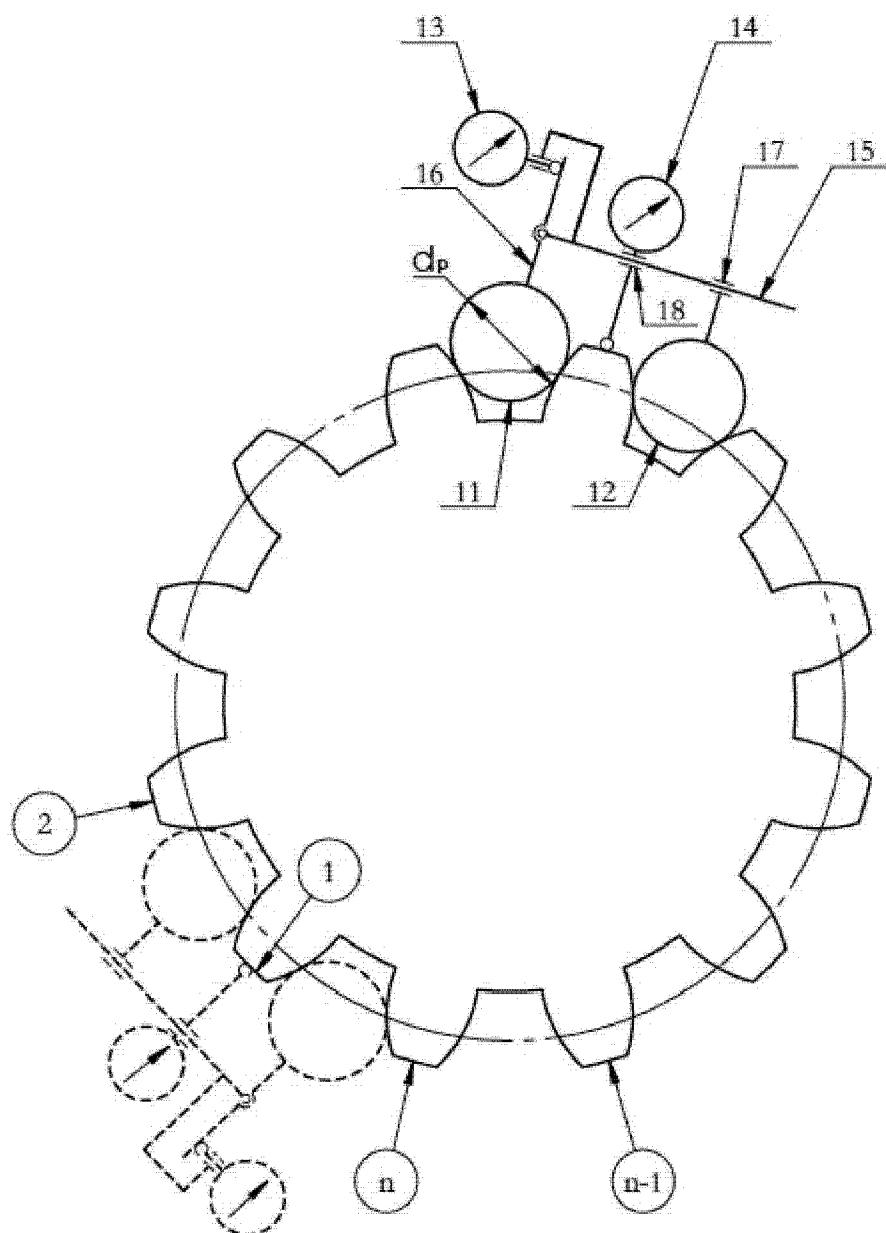


图 8

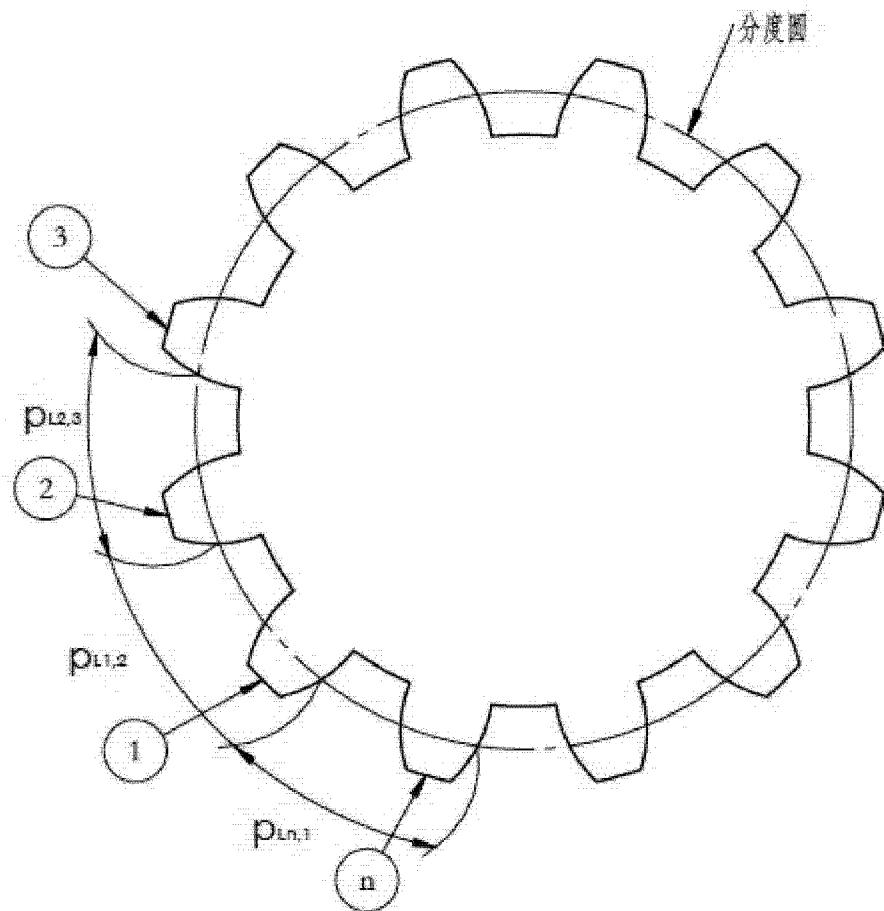


图 9

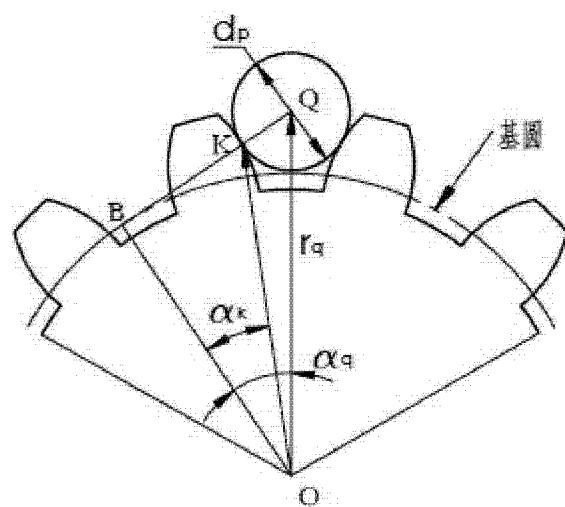


图 10

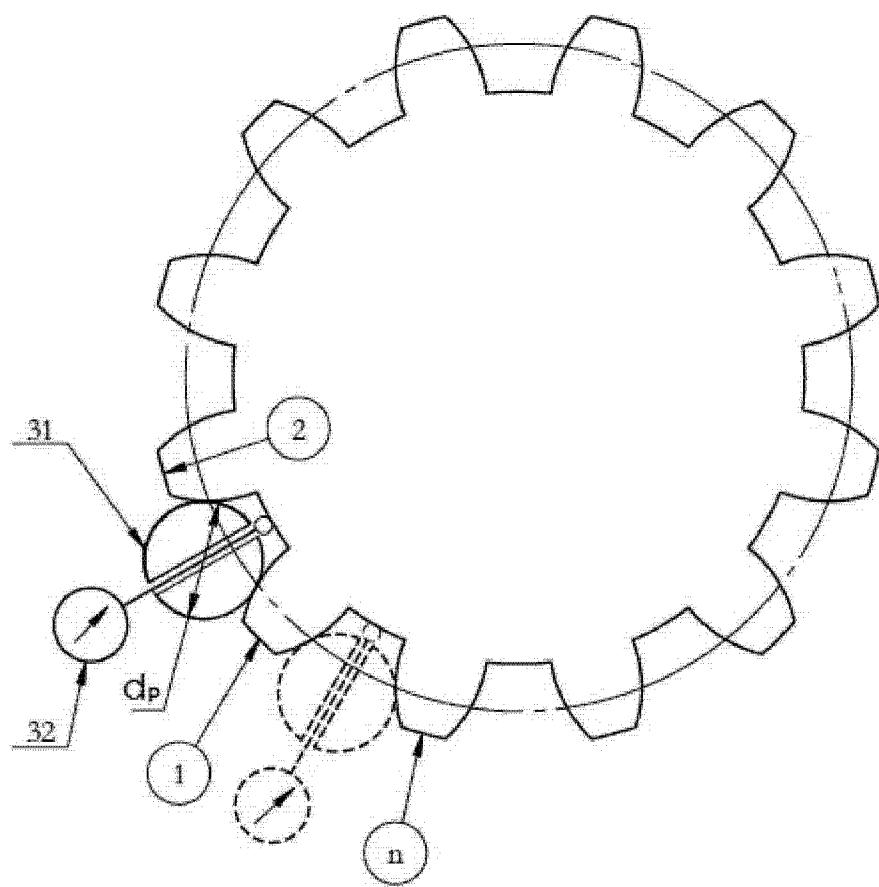


图 11

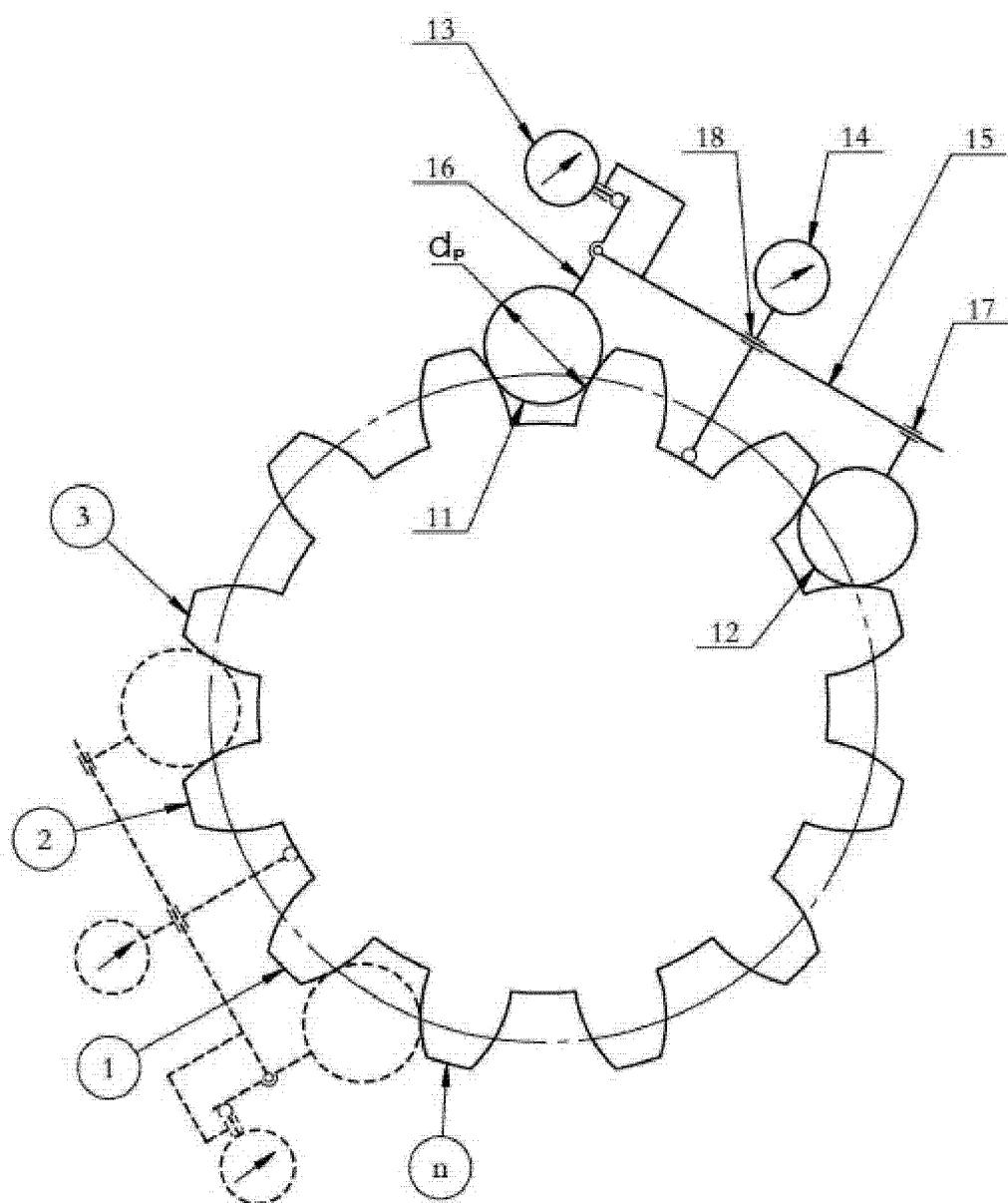


图 12