



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 105643374 B

(45)授权公告日 2018.01.09

(21)申请号 201610083727.X

(22)申请日 2016.02.06

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 105643374 A

(43)申请公布日 2016.06.08

(73)专利权人 苏州大学

地址 215123 江苏省苏州市苏州工业园区
仁爱路199号

(72)发明人 陈曦 郭培基 范建彬 王伟

(74)专利代理机构 苏州创元专利商标事务所有
限公司 32103

代理人 陶海锋

(51)Int.Cl.

B24B 1/00(2006.01)

B24B 13/00(2006.01)

(56)对比文件

CN 203696673 U, 2014.07.09, 全文.

CN 103111630 A, 2013.05.22, 全文.

US 2013010243 A1, 2013.01.10, 全文.

US 2005079805 A1, 2005.04.14, 全文.

审查员 刘然

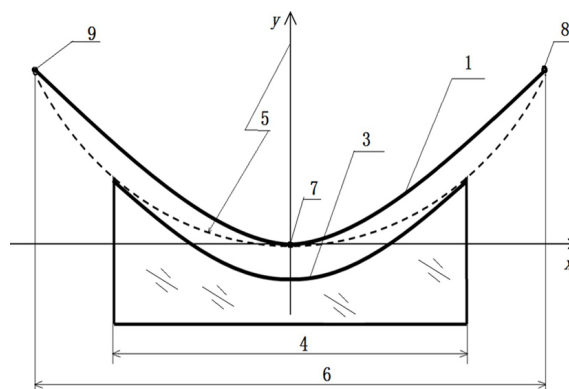
权利要求书1页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种非球面镜的加工方法

(57)摘要

本发明公开了一种非球面镜的加工方法,用于加工圆锥常数 $K < 0$ 旋转对称凹二次非球面镜,包括先按照非球面结构参数设计并加工起始球面的步骤,再通过研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤,使用检测设备测试面形误差指导研磨抛光的步骤,其特征在于:所述起始球面的口径 D 与非球面的口径相等,起始球面的曲率半径 R 等于非球面母线方程中顶点与该非球面母线上 $1.414D$ 口径处的第一点、第二点连接构成的三角形的外接圆半径。本发明解决了现有技术中边缘效应的影响问题,提高了非球面加工的效率,降低了加工难度。



1. 一种非球面镜的加工方法,用于加工圆锥常数 $K < 0$ 旋转对称凹二次非球面镜,包括先按照非球面结构参数设计并加工起始球面的步骤,再通过研磨修正起始球面(5)与非球面(1)面形误差的步骤,使用检测设备测试面形误差指导研磨抛光的步骤,其特征在于:所述起始球面(5)的口径 D 与非球面(1)的口径(4)相等,起始球面(5)的曲率半径 R 等于非球面(1)母线方程中顶点(7)与该非球面母线上 $1.414D$ 口径(6)处的第一点(8)、第二点(9)连接构成的三角形的外接圆半径。

2. 根据权利要求1所述的非球面镜的加工方法,其特征在于:所述研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤中,研磨所使用研磨盘(12)为曲率半径等于非球面最接近球(2)曲率半径的凸球面,研磨盘材料为玻璃,研磨方法为:以起始球面工件(13)的侧壁圆柱为基准调整使其圆柱轴心线与转台转轴同轴,然后将其固定在在转台上,研磨时在工件待加工面(14)均匀涂布研磨磨料,研磨盘在工件表面的运动行程为待加工面口径直径方向上的往复运动。

3. 根据权利要求2所述的非球面镜的加工方法,其特征在于:研磨盘(12)的凸面上刻有若干条凹槽(15)。

4. 根据权利要求2或3所述的非球面镜的加工方法,其特征在于:所述研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤中,研磨盘移动到工件边缘而不露边。

5. 根据权利要求4所述的非球面镜的加工方法,其特征在于所述研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤中,研磨所使用磨料的选用方法是:先判断母线面形误差的PV值,当 $PV \geq 300$ 微米时使用粒度W40的磨料研磨,当 $30 \text{微米} \leq PV < 300$ 微米使用粒度W28的磨料研磨,当 $5 \text{微米} \leq PV < 30$ 微米使用粒度W14的磨料研磨,当 $PV < 5$ 微米使用粒度W10的磨料研磨。

6. 根据权利要求1所述的非球面镜的加工方法,其特征在于所述使用检测设备测试面形误差指导研磨抛光的步骤为:研磨阶段母线面形误差 $PV \geq 5$ 微米时使用轮廓仪测量母线,用母线上的误差分布曲线指导研磨修正对称性误差,当 $PV < 5$ 微米时,用轮廓仪测量测量整个镜面,用三维面形误差分布指导研磨修正局部非对称误差。

一种非球面镜的加工方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种光学元件的加工,具体涉及一种旋转对称非球面镜的加工方法。

背景技术

[0002] 非球面光学元件是一种非常重要的光学元件,它可以获得球面光学元件所无可比拟的成像质量,在光学系统中能够很好地矫正多种像差,改善成像质量,提高系统鉴别能力;在光学系统中,能以一个或几个非球面元件代替多个球面元件,从而简化仪器结构,简化系统结构、缩短筒长、并有效地减轻仪器的重量;同时非球面光学系统的设计能使计算方法大为简化。鉴于以上优点,研究开发新的非球面光学元件的加工和检测技术一直是本领域的重要任务。

[0003] 随着计算机数控单点金刚石技术、超精密磨削技术、计算机控制光学表面成形技术等非球面加工技术的进一步发展,目前非球面光学元件的制造技术已从传统的手工修改球形表面发展到计算机控制确定性的加工过程。然而这种技术高度依赖精密复杂结构的仪器设备,众所周知这些高精密光学加工仪器设备又严重依赖进口,其设备价格昂贵且设备使用后期维护成本高,只有国内少部分科研机构或者大型企业有实力使用这些设备来加工非球面。

[0004] 实际上在我国光学加工领域,采用最多的技术路线依然是先制造出与非球面相比最为接近的球面,然后依靠精密研磨、精密抛光等工序,多周期修正最接近球面与非球面的偏差量,直至最终达到图纸设计要求。衡量每一过程加工质量的指标是:面形误差的收敛速度、下表面破坏层深度的控制、边缘磨削量的控制即边缘效应的去除。上述环节解决的好坏将直接影响到被加工工件的表面质量,处理好这些技术难点多年来一直为各国光学技术人员所关注。然而,在传统研磨工艺中,保持压力恒定,靠控制磨头在工件表面的驻留时间来控制去除量,当磨头移动到工件边缘而不露边时,由于最边缘区域的相对加工时间小于中间区域,则去除量减少,工件发生“翘边”;反之,当磨头部份露出工件边缘时,由于相对压力增大,使边缘区域去除量增加,工件发生“塌边”,这两种现象被称为边缘效应。

[0005] 除此之外,如图1所示,传统二次凹非球面 $K < 0$,相比最为接近的球面2的材料去除分布曲线为W形,如图7中17所示,材料去除分布在口径0.707处最低,中心和边缘高。在研磨0.707带外的边缘时由于边缘效应的存在若磨盘不出边则最低带慢慢向外边缘移,如图2所示,随着最低带外移磨盘尺寸逐渐减小相应去除效率也降低;若磨盘出边则在工件边缘塌边,如图3所示,塌边后即在边缘很窄的带内出现一个误差峰值,如要去除这个峰值需要花费大量的精力相应去除效率也减小。正是由于边缘效应的存在,以往的最接近球0.707带外的误差非常难处理。若在研磨阶段工件0.707之外边缘处理不好会严重影响到后期的抛光进程,严重阻碍面形误差收敛,在一定程度上影响了非球面加工的效率 and 增大了加工难度。在传统的工艺中处理边缘效应的技术方案有一下三种,1.直接研磨,随着镜面上最低带的外移逐步缩小研磨盘的尺寸,经过多次反复加工外边缘的误差逐步缩小,这种加工方式会在处理边缘上耗费大量的时间,且由于使用的磨盘逐步变小容易磨出更多的高低起伏的碎

带,如图4所示,严重影响抛光阶段边缘面形误差的收敛速度;2.加大初始工件口径尺寸,研磨阶段处理镜面0.707外边缘翘边所产生的碎带位置出现在非球面实际口径之外,完成抛光后将初始工件尺寸磨削至非球面实际口径尺寸;这种加工方式实际上是加工了一个口径比实际要求口径大的非球面,把与研磨抛光过程中边缘问题通过余量磨削的方式去除,显然增加了材料成本,3.拼接,加工一个内径与待加工非球面口径相同的环形护环,通过粘结工艺将护环与待加工工件粘结为一个整体,研磨抛光时护环承受了边缘效应的影响,加工结束后将护环拿下,这种加工方式会增加加工工艺的难度,且粘结后容易在工件上产生不均匀的应力分布,待加工过程结束卸下护环后由于粘结产生的应力释放,已经加工好的镜面表面产生非常大的局部误差,对加工好的镜面重新修正局部误差势必延长了加工周期。

发明内容

[0006] 本发明的发明目的是提供一种旋转对称凹二次非球面镜的加工方法,不需要依赖高精复杂仪器设备,不需要花费特别精力处理0.707带外边缘误差,避免研磨阶段受边缘效应影响工件0.707带外边缘处理效率低的技术问题。

[0007] 为达到上述发明目的,本发明采用的技术方案是:一种非球面镜的加工方法,用于加工圆锥常数 $K < 0$ 旋转对称凹二次非球面镜,包括先按照非球面结构参数设计并加工起始球面的步骤,再通过研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤,使用检测设备测试面形误差指导研磨抛光的步骤,所述起始球面的口径 D 与非球面的口径相等,起始球面的曲率半径 R 等于非球面母线方程中顶点与该非球面母线上 $1.414D$ 口径处的第一点、第二点连接构成的三角形的外接圆半径。

[0008] 上述技术方案中,所述研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤中,研磨所使用研磨盘为曲率半径等于非球面最接近球曲率半径的凸球面,研磨盘材料为玻璃,研磨方法为:以起始球面工件的侧壁圆柱为基准调整使其圆柱轴心线与转台转轴同轴,然后将其固定在在转台上,研磨时在工件待加工面均匀涂布研磨磨料,研磨盘在工件表面的运动行程为待加工面口径直径方向上的往复运动。

[0009] 优选的技术方案,研磨盘的凸面上刻有若干条凹槽。

[0010] 所述研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤中,研磨盘移动到工件边缘而不露边。

[0011] 所述研磨修正起始球面与非球面面形误差的步骤中,研磨所使用磨料的选用方法是:先判断母线面形误差的PV值,当 $PV \geq 300$ 微米时使用粒度W40的磨料研磨,当 $30 \text{微米} \leq PV < 300$ 微米使用粒度W28的磨料研磨,当 $5 \text{微米} \leq PV < 30$ 微米使用粒度W14的磨料研磨,当 $PV < 5$ 微米使用粒度W10的磨料研磨。

[0012] 上述技术方案中,所述使用检测设备测试面形误差指导研磨抛光的步骤为:研磨阶段母线面形误差 $PV \geq 5$ 微米时使用轮廓仪测量母线,用母线上的误差分布曲线指导研磨修正对称性误差,当 $PV < 5$ 微米时,用轮廓仪测量测量整个镜面,用三维面形误差分布指导研磨修正局部非对称误差。

[0013] 由于上述技术方案运用,本发明与现有技术相比具有下列优点:

[0014] 本发明克服了传统加工工艺中,先加工最接近球面然后通过研磨加工将最接近球面改为非球面的过程中,由于边缘效应影响使工件边缘去除量难以控制,严重阻碍面形误

差收敛,在一定程度上影响了非球面加工的效率 and 难度的技术问题;实现了不依赖高精复杂仪器设备,不需要花费特别精力处理0.707带外边缘误差,只需加工出本发明所述的起始球,按照传统的工艺即可迅速完成后期光学加工的技术效果,特别适用旋转对称凹二次非球面镜光学元件的加工。

[0015] 本发明克服了传统加工工艺中以最小材料去除量为目标设计加工起始球面的技术偏见,通过刻意增加材料去除量的方式设计出的起始球面材料去除量在整个工件上呈现从边缘到中心逐渐增大的分布;用较大尺寸研磨盘配合高工件转速可以轻而易举的将其去除,克服了传统加工修正W形误差带受边缘效应易产生碎带影响误差收敛慢的技术问题。

[0016] 本发明的技术方案还适用于一些高次非球面镜以及拼接成旋转对称母镜的离轴非球面的加工。

附图说明

[0017] 附图1为现有技术中由最接近球面获得非球面示意图;

[0018] 附图2为现有技术中研磨盘不出边时翘边带变窄示意图;

[0019] 附图3为现有技术中研磨盘出边时塌边示意图;

[0020] 附图4为现有技术中由最接近球开始研磨修正0.707外翘边带产生的碎带示意图;

[0021] 附图5为本发明实施例中由起始球面获得非球面示意图;

[0022] 附图6为本发明实施例中研磨盘及研磨示意图;

[0023] 附图7为实施例与对比例中材料去除量分布示意图。

[0024] 其中:1、非球面母线;2、最接近球面;3、非球面;4、圆柱直径;5、起始球面;6、1.414D口径;7、顶点;8、第一点;9、第二点;12、研磨盘;13、起始球面工件;14、工件待加工面;15、凹槽;16、实施例的材料去除分布曲线;17、对比例的材料去除分布曲线。

具体实施方式

[0025] 下面结合附图及实施例对本发明作进一步描述:

[0026] 实施例:待加工的非球面镜的参数为:曲率半径 $R=896.826\text{mm}$,圆锥常数 $K=-0.96$,口径 $D=380\text{mm}$ 。

[0027] 参见附图5所示,先按照非球面结构参数设计并加工起始球面,再通过研磨修正起始球面与非球面面形误差,最后使用检测设备测试面形误差指导研磨抛光。

[0028] 其中,起始球面的曲率半径可由非球面顶点与非球面上1.414D口径即537.32mm口径处两点连接构成的三角形的外接圆求得,计算得到起始球半径为916.171mm。

[0029] 参见附图6所示,加工一个口径为380mm,曲率半径916.2mm的起始凹球面;加工三个凸球面研磨盘,曲率半径906.5mm,口径分别为95mm、60mm、30mm,研磨盘上刻有宽2mm,深2mm的圆形凹槽;先选用粒度为W28的金刚砂对起始球进行研磨,工件转速50转/分钟,研磨盘运动方式为过镜面中心径向方向的往复运动,轮廓仪测量母线,用母线上误差分布指导加工;误差曲线 $PV<30$ 微米时,换用粒度W14的金刚砂研磨,工件转速20转/分钟,研磨盘运动方式为过镜面中心径向方向的往复运动,轮廓仪测量母线,用母线上误差分布指导加工;误差曲线 $PV<5$ 微米时,换用粒度W10的金刚砂定点研磨,工件转速为零,用轮廓仪测量整个面获得整个面的面形误差分布数据指导修正非对称性局部误差; $PV<3$ 微米时,粒度W10的金刚

砂研磨,工件转速为12转/分,使材料表面各处深度均匀去除10微米,通过这一工序可以最大限度保证整个镜面各处材料破坏层分布均匀一致;最终研磨获得面形误差 $PV < 3$ 微米的非球面,直接对此非球面抛光即可获得期望的非球面。

[0030] 经检测,起始球面加工非球面的材料去除分布曲线如图7中16所示,其分布曲线呈现高斯型曲线分布,去除量 PV 为217.5微米。

[0031] 对比例:参见附图1所示,图中,1为非球面在 Oxz 坐标系中的母线;2为在 Oxz 坐标系中由非球面获得的最接近球面;3为经过研磨抛光最终获得的非球面;4为非球面口径 D 。

[0032] 非球面镜结构参数与实施例相同。其最接近球面的曲率半径可由非球面顶点与非球面上380mm口径处两点所构成外接圆求得,计算得到其最接近球半径906.491mm。

[0033] 采用现有技术先加工最接近球面,再进行研磨制备非球面。

[0034] 最接近球面加工非球面的材料去除分布曲线如图7中17所示,其分布曲线呈现W形,去除量 PV 为54.3微米。

[0035] 从附图7的对比可以看出,本发明的实施例解决了现有技术中存在的问题,获得了显著的技术效果。

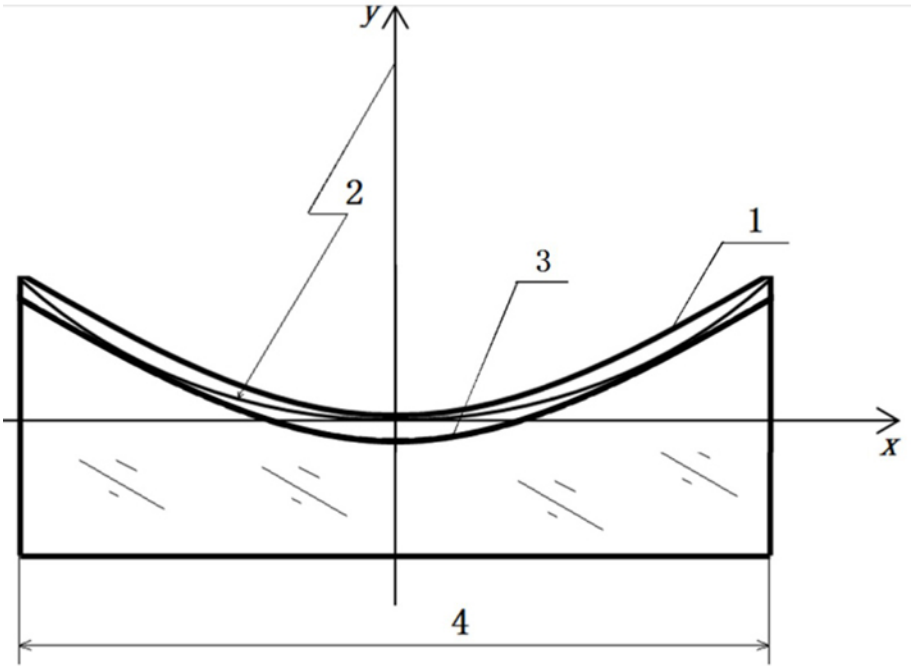


图1

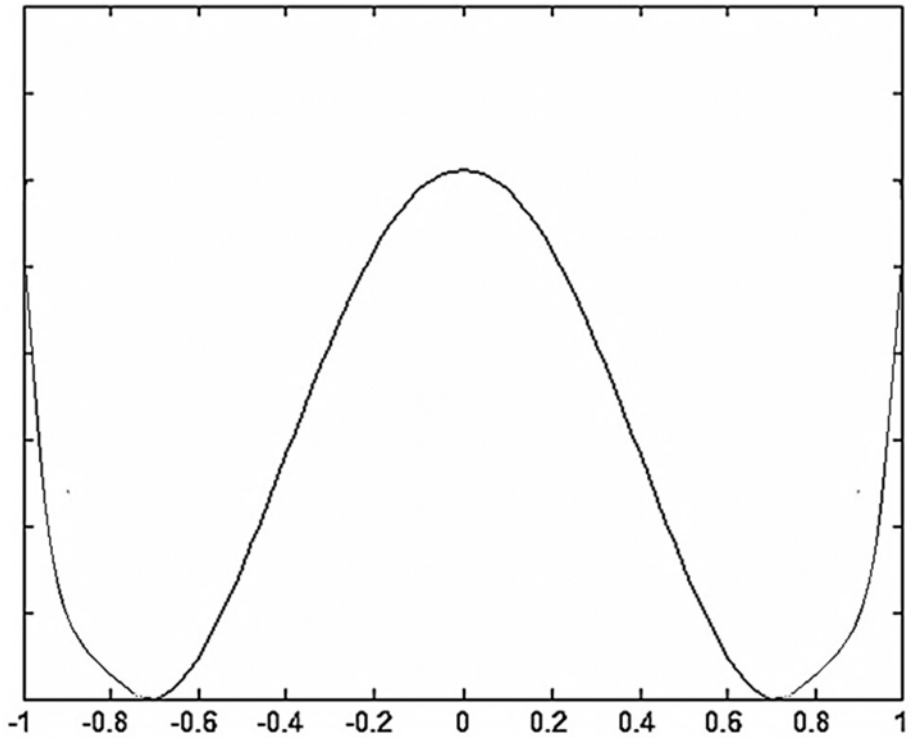


图2

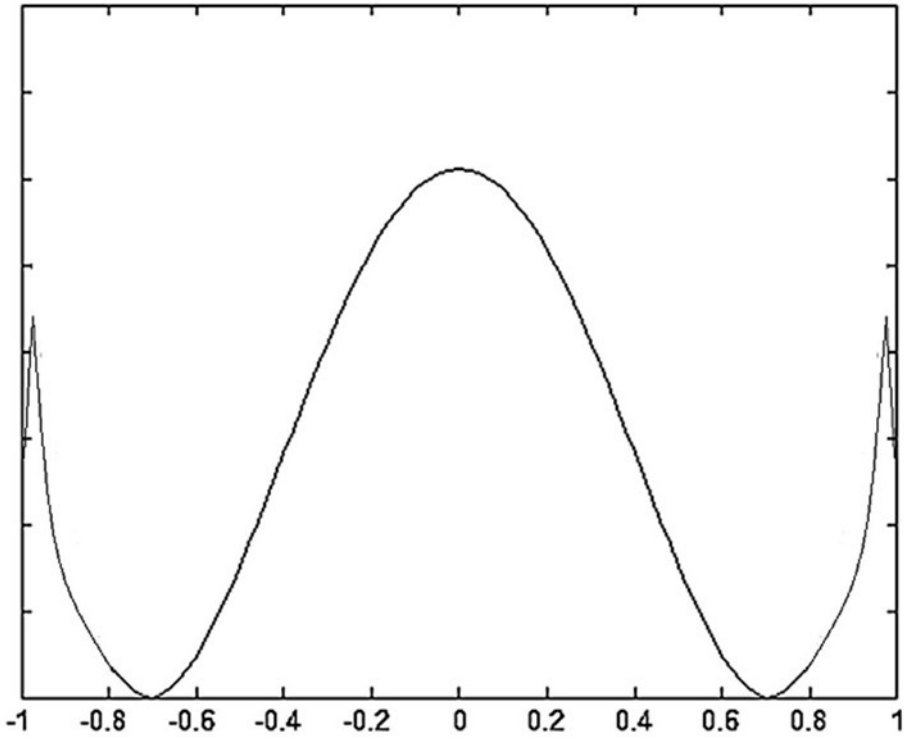


图3

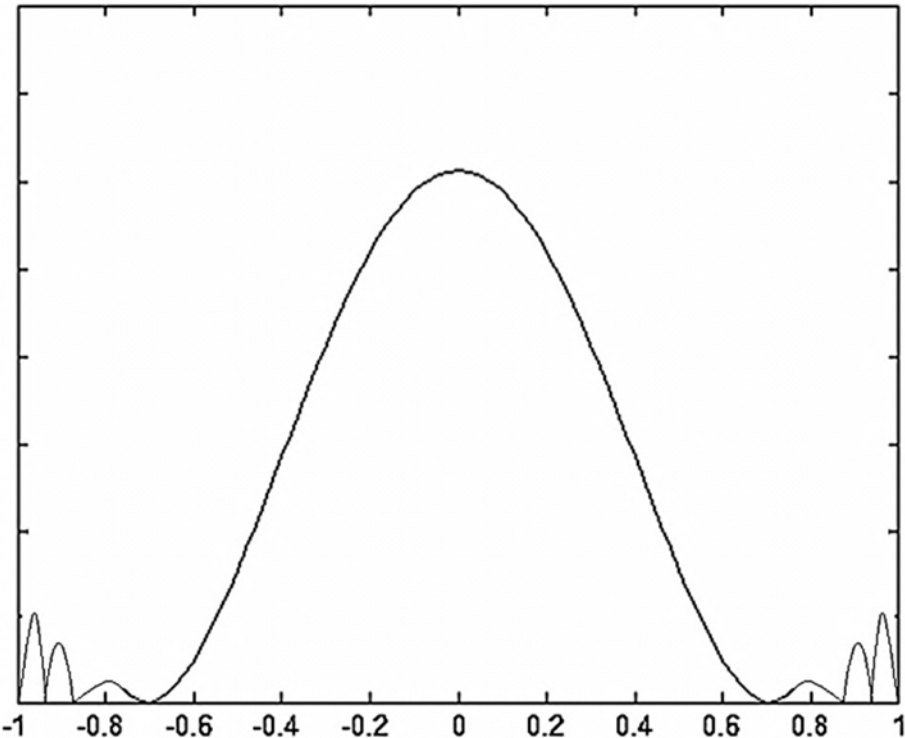


图4

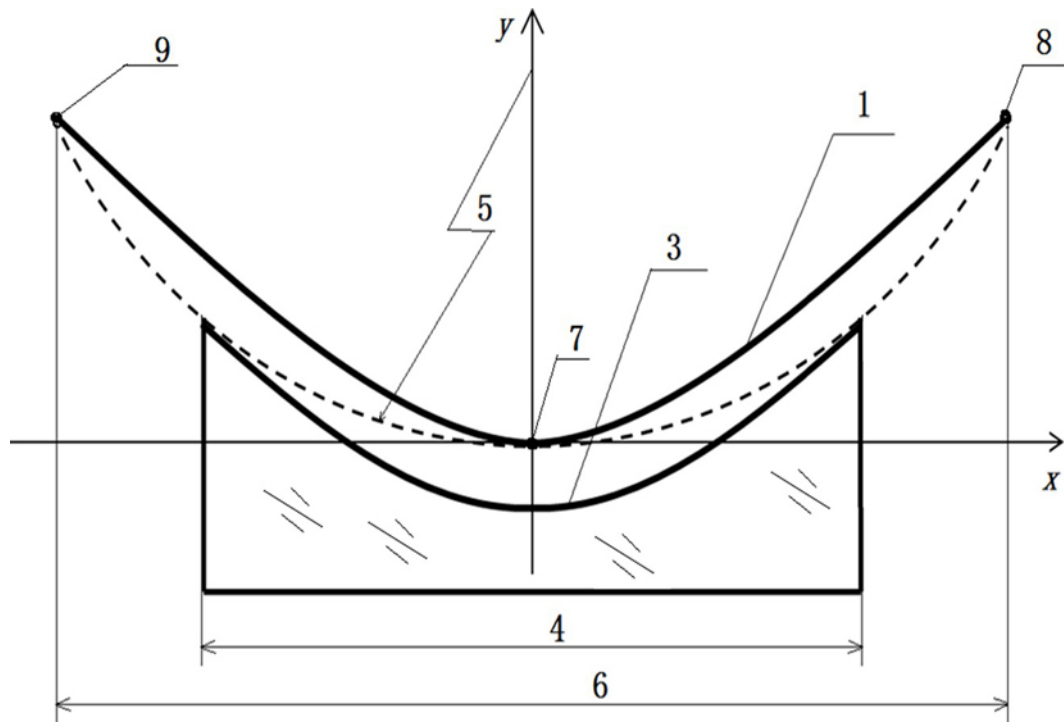


图5

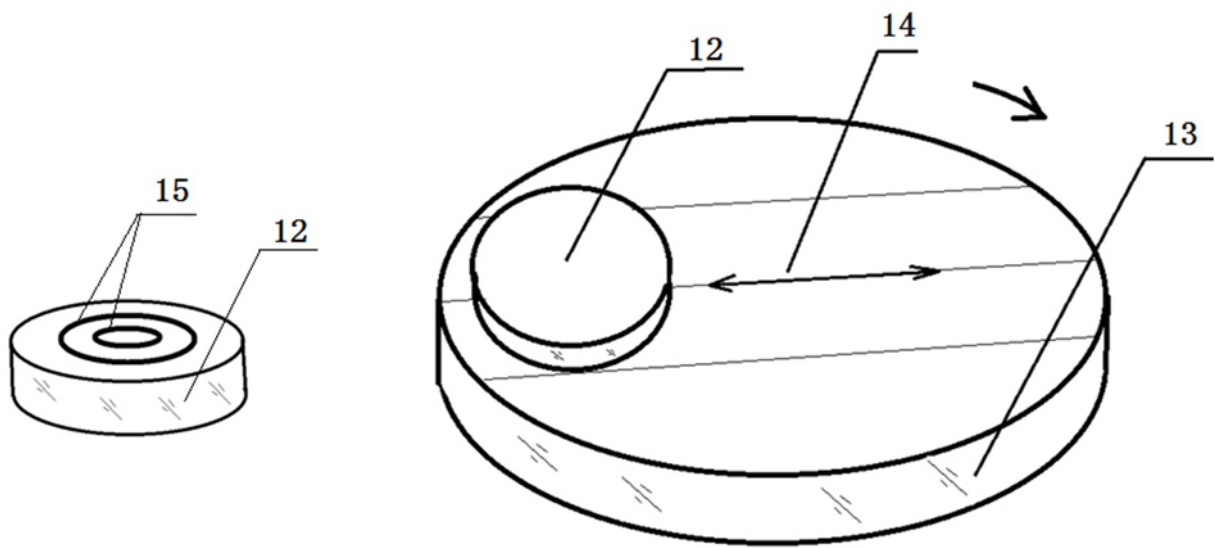


图6

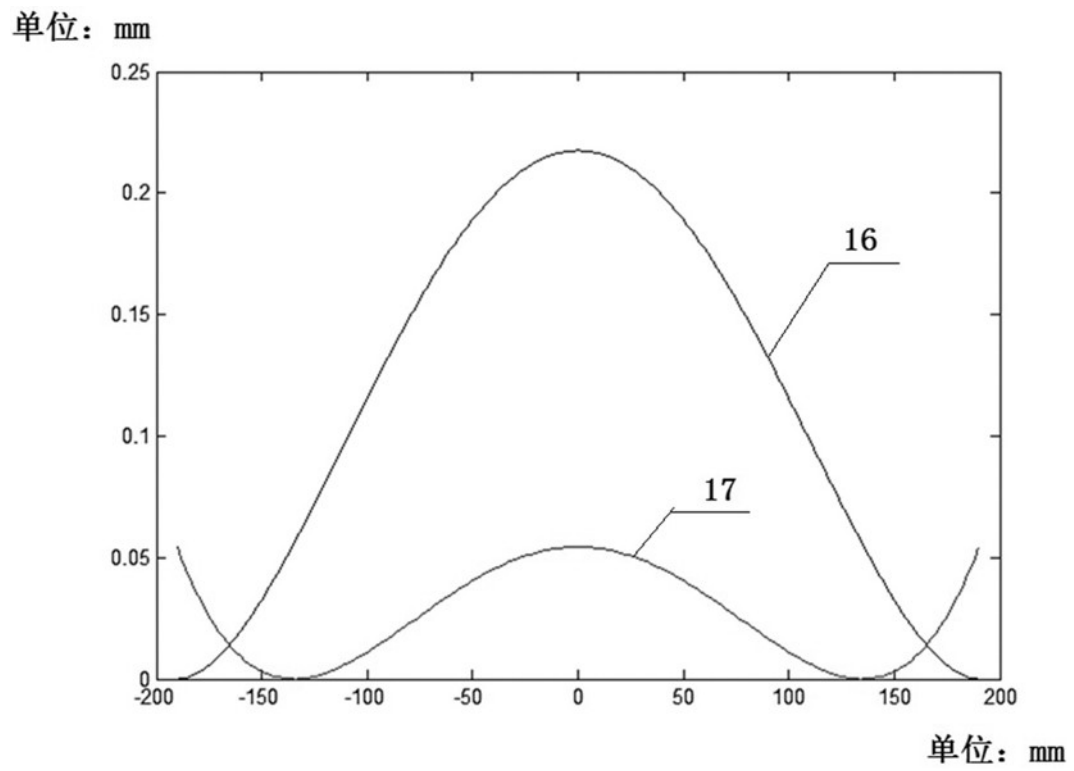


图7