



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103586323 A

(43) 申请公布日 2014. 02. 19

(21) 申请号 201310628487. 3

(22) 申请日 2013. 12. 02

(71) 申请人 哈尔滨工业大学

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区西大直街 92 号

(72) 发明人 苑世剑 滕步刚 徐永超 王小松

(74) 专利代理机构 哈尔滨市松花江专利商标事务所 23109

代理人 高媛

(51) Int. Cl.

B21D 26/02(2011. 01)

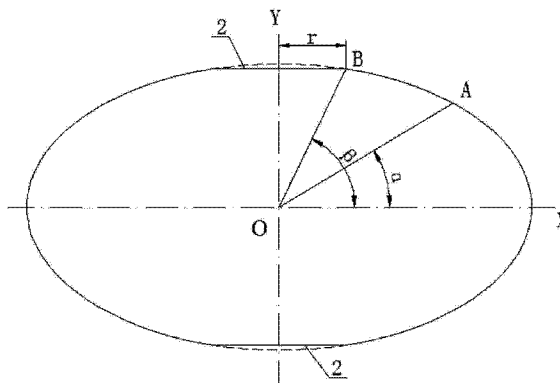
权利要求书1页 说明书6页 附图6页

(54) 发明名称

双轴长比椭球容器液压成形方法

(57) 摘要

双轴长比椭球容器液压成形方法,它涉及一种椭球容器液压成形方法,以解决轴长比 λ 大于 $\sqrt{2}$ 的椭球容器成形时,因长半轴附近在纬向压应力作用下,发生失稳起皱的问题,成形方法的步骤是,一、根据设计要求的轴长比 λ ,确定拉压分界设计点;步骤二、极板和侧瓣的坯料确定;步骤三、充液成形,向步骤二的多面体容器充满传压液体介质,通过液压泵来增加容器内部压力,在内部压力的作用下,使壳体发生塑性变形,多面体容器最终成形为椭球容器。本发明用于椭球容器的成形。



1. 双轴长比椭球容器液压成形方法,其特征在于:所述方法是按照以下步骤实现的,步骤一、根据设计要求的轴长比 λ ,确定拉压分界设计点,

$$\alpha = \arctan \frac{\sqrt{\lambda^2 - 2}}{\lambda^2}$$

其中, α 为轴长比为 λ 时的设计球心角,单位为角度;其中, $\lambda > \sqrt{2}$,设计球心角 α 所对应的椭球上的点 A 为拉压分界设计点;

步骤二、极板和侧瓣的坯料确定

(1)、极板的确定,两个极板(2)采用圆板,圆板的直径由夹角 β 确定,夹角 β 的取值范围为 $60^\circ \sim 85^\circ$,所述夹角 β 为轴长比为 λ 时椭球的球心至曲线上某一点 B 的连线与长轴的夹角,点 B 至短轴的距离为极板的半径(r),其中, $\alpha < \beta$;

(2)、侧瓣的确定,根据步骤一中确定的拉压分界设计点,选择实际的拉压分界设计点为 P,点 P 对应的球心角 θ 为 $(\alpha - 5^\circ) \sim (\alpha + 5^\circ)$,点 B 与实际拉压分界点 P 之间的第一段侧瓣(3)选用轴长比为 λ 的椭圆形单曲率弧板,实际拉压分界点 P 至长轴之间的第二段侧瓣(4)选用轴长比 λ_1 为 $1 < \lambda_1 < \sqrt{2}$ 的椭圆形单曲率弧板,第一段侧瓣(3)、第二段侧瓣(4)及两个极板(2)组装焊接后构成封闭的多面体容器;

步骤三、充液成形,向步骤二的多面体容器充满传压液体介质,通过液压泵来增加容器内部压力,在内部压力的作用下,使壳体发生塑性变形,多面体容器最终成形为椭球容器,成形压力由 $p = \frac{2t}{a} \sigma_s$ 得到,其中, p 为成形压力, t 为壁厚, a 为长半轴长, σ_s 为容器所选材料的屈服应力, σ_s 由单向拉伸试验测得。

2. 根据权利要求 1 所述的双轴长比椭球容器液压成形方法,其特征在于:步骤二中的夹角(β)的取值范围为 $65^\circ \sim 80^\circ$ 。

3. 根据权利要求 2 所述的双轴长比椭球容器液压成形方法,其特征在于:步骤二中的夹角(β)的取值范围为 75° 。

4. 根据权利要求 2 所述的双轴长比椭球容器液压成形方法,其特征在于:步骤二中的夹角(β)的取值范围为 70° 。

5. 根据权利要求 1、2 或 4 所述的双轴长比椭球容器液压成形方法,其特征在于:所述步骤二中实际拉压分界点 P 至长轴之间的第二段侧瓣(4)选用轴长比(λ_1)为 1 的圆弧板。

双轴长比椭球容器液压成形方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种椭球容器液压成形方法,属于容器制造领域。

背景技术

[0002] 椭球容器具有受力均匀、重心低和受风面积小等优点,特别适合于作为石油化工容器和大型水塔,部分椭球壳体做为柱形容器的封头、大型运载火箭的燃料储箱箱底封头等。

[0003] 传统成形椭球容器的制造方法一般是模压法,其制造工序为划线下料、在压力机上模压瓣片、二次切割、组装焊接。这种方法的缺点是壳体瓣片为双曲率型面,无法做到精确下料展开;模压时由于受弹复的影响,往往需要反复的模压和校形,制造周期长;在组装焊接时,由于瓣片都是双曲率的,使组装和焊接非常困难,精度难于保证,容易形成错边。同时由于需要大型模具和压力机,使得制造成本大大升高,一旦产品的规格发生变化,又需重新制造模具,因此对产品变更的适应性差。而且椭球容器从赤道带到南北极带曲率变化,对于大型椭球容器而言,需要多套模具,这是限制椭球容器广泛应用的主要原因。

[0004] 为了解决椭球容器制造存在的难题,申请者提出了椭球容器的整体无模液压成形方法,其基本原理是用一个封闭的单曲率壳去逼近一个双曲率旋转椭球壳,在单曲率壳体中充入液体压力介质使之发生塑性变形并逐步胀形成为一个双曲率旋转椭球壳,其基本工艺过程为:将板料切割成一定形状的板坯(包括极板和侧瓣),在卷弯设备上将侧瓣予弯成一定形状的单曲率壳板,将这些单曲率壳板与上下极板组装焊接成封闭壳体,充入水或油压力介质,加压使壳体发生塑性变形,在内压作用下,多面壳体胀形为双曲率椭球壳体。

[0005] 与球形容器无模液压成形相比,椭球受力和变形更为复杂,并不是简单的胀形变形。椭球由于各处曲率不同,无模液压成形时,各处应力状态不同,能否顺利成形与椭球轴长比 λ (长轴与短轴长度之比)有很大关系。申请者通过大量实验证明,对于轴长比 λ_1 小于 $\sqrt{2}$ 的椭球液压胀形,可以顺利成形合格产品;而对于轴长比 λ 大于 $\sqrt{2}$ 的椭球,在内压作用下,由于赤道带附近受纬向压应力作用,成形过程中易发生失稳起皱,无法成形出合格产品,如图 1 和图 2 所示。

[0006] 为了解决该问题,对于轴长比 λ 大于 $\sqrt{2}$ 的椭球液压成形,申请者曾提出极板限位和中心管限位的椭球容器无模液压成形方法。

[0007] 极板限位成形方法是单曲率椭球胀形到一定阶段后,通过压力机压紧上下极板进行轴向约束,如图 3,实验表明,在轴向约束下,壳体变形很快转向赤道区域,原来有起皱趋势的焊缝区域很快与板面协调变形,失稳减小,最后平滑过渡。该方法的缺点是,对于直径较大的椭球容器,则需要较大台面尺寸和开口高度的压力机,例如,长轴和短轴分别为 5m 和 3m 的椭球需要压力机的台面达到 5m×5m 的台面以上,开口高度达到 3m 以上,而且对于该尺寸椭球,装满水后,仅水的重量就重达 40 吨左右,对液压机下台面及基础都有较高的承载要求,因此,通过压力机限位的方法不适合在工程上制造大型椭球容器。

[0008] 中心管限位成形方法是指带有中心管限位的椭球胀形, 椭球胀形时需分步成形, 先将弯卷后的侧瓣与中心管组装焊接, 胀形完成后, 将中心管切去, 在焊上上下极板, 进行二次胀形。该方法的缺点是工艺复杂、需二次成形; 胀形时, 中心管受外压作用, 容易失稳压瘪, 因此, 需要较厚的中心管, 增加制造成本; 试验表明, 胀形时, 侧瓣与中心管焊接处, 所受应力较大, 焊缝容易胀裂, 如图 4 所示。

发明内容

[0009] 本发明是为解决轴长比 λ 大于 $\sqrt{2}$ 的椭球容器成形时, 因长半轴附近在纬向压应力作用下, 发生失稳起皱的问题, 进而提供双轴长比椭球容器液压成形方法。

[0010] 本发明为解决上述问题采取的技术方案是: 本发明的双轴长比椭球容器液压成形方法是按照以下步骤实现的, 步骤一、根据设计要求的轴长比 λ , 确定拉压分界设计点,

$$[0011] \quad \alpha = \arctan \frac{\sqrt{\lambda^2 - 2}}{\lambda^2}$$

[0012] 其中, α 为轴长比为 λ 时的设计球心角, 单位为角度; 其中, $\lambda > \sqrt{2}$, 设计球心角 α 所对应的椭球上的点 A 为拉压分界设计点;

[0013] 步骤二、极板和侧瓣的坯料确定

[0014] (1)、极板的确定, 两个极板采用圆板, 圆板的直径由夹角 β 确定, 夹角 β 的取值范围为 $60^\circ \sim 85^\circ$, 所述夹角 β 为轴长比为 λ 时椭球的球心至曲线上某一点 B 的连线与长轴的夹角, 点 B 至短轴的距离为极板的半径, 其中, $\alpha < \beta$;

[0015] (2)、侧瓣的确定, 根据步骤一中确定的拉压分界设计点, 选择实际的拉压分界设计点为 P, 点 P 对应的球心角 θ 为 $(\alpha - 5^\circ) \sim (\alpha + 5^\circ)$, 点 B 与实际拉压分界点 P 之间的第一段侧瓣选用轴长比为 λ 的椭圆形单曲率弧板, 实际拉压分界点 P 至长轴之间的第二段侧瓣选用轴长比 λ_1 为 $1 < \lambda_1 < \sqrt{2}$ 的椭圆形单曲率弧板, 第一段侧瓣、第二段侧瓣及两个极板组装焊接后构成封闭的多面体容器;

[0016] 步骤三、充液成形, 向步骤二的多面体容器充满传压液体介质, 通过液压泵来增加容器内部压力, 在内部压力的作用下, 使壳体发生塑性变形, 多面体容器最终成形为椭球容器, 成形压力由 $p = \frac{2t}{a} \sigma_s$ 得到, 其中, p 为成形压力, t 为壁厚, a 为长半轴长, σ_s 为容器所选材料的屈服应力, σ_s 由单向拉伸试验测得。

[0017] 本发明的有益效果是: 本发明对 $\lambda > \sqrt{2}$ 的椭球容器胀前结构设计为双轴长比结构, 以纬向应力为 0 处 (或纬向应力大于 0 的某处) 为分界点, 从极点到该分界点的纬向应力为拉应力区域, 保留原轴长比结构, 从该分界点到赤道 (长半轴带) 纬向应力为压应力区域, 采用 λ_1 小于 $\sqrt{2}$ 的椭球体或 λ_1 等于 1 的球体结构, 从而保证内压作用下双轴长比椭球容器整体纬向不受压应力作用。有效地解决了现有成形轴长比 λ 大于 $\sqrt{2}$ 的椭球容器的方法, 在内压作用下, 由于 (长半轴带) 赤道带附近受纬向压应力作用, 成形过程中易发生失稳起皱, 无法成形出合格产品的问题; 本发明设计合理, 成形工艺简单, 成形产品结构稳定可靠, 本发明的工作效率相比极板限位法提高了 10%-15%; 本发明的工作效率相比中心管限位法

提高了 18%-28%；本发明的工艺成本相比极板限位法和中心管限位法分别降低了 15%-20% 和 26%-33%。

附图说明

[0018] 图 1 是采用整体无模液压成形方法成形得到的轴长比大于 $\sqrt{2}$ 椭球容器的长轴区域焊缝处起皱的示意图,图 2 是图 1 的俯视图,图 3 是限制极板位移成形方法成形椭球容器的状态示意图,图 4 是中心管限位法成形椭球容器的状态示意图(焊缝 1),图 5 是本发明成形椭球容器的拉压分界点选择状态示意图,图 6 是由轴长比大于 $\sqrt{2}$ 的椭球段和轴长比为 1 的球段构成的双轴长比多面体容器的结构示意图,图 7 是由轴长比大于 $\sqrt{2}$ 的椭球段和轴长比小于 $\sqrt{2}$ 的椭球段构成的双轴长比多面体容器的结构示意图,图 8 是本发明的椭球容器成形原理示意图(理想椭球容器结构示意图)。

具体实施方式

[0019] 具体实施方式一:结合图 5- 图 8 说明,本实施方式的双轴长比椭球容器液压成形方法是按照以下步骤实现的,步骤一、根据设计要求的轴长比 λ , 确定拉压分界设计点,

$$[0020] \quad \alpha = \arctan \frac{\sqrt{\lambda^2 - 2}}{\lambda^2}$$

[0021] 其中, α 为轴长比为 λ 时的设计球心角,单位为角度;其中, $\lambda > \sqrt{2}$, 设计球心角 α 所对应的椭球上的点 A 为拉压分界设计点;

[0022] 步骤二、极板和侧瓣的坯料确定

[0023] (1)、极板的确定,两个极板(2)采用圆板,圆板的直径由夹角 β 确定,夹角 β 的取值范围为 $60^\circ \sim 85^\circ$, 所述夹角 β 为轴长比为 λ 时椭球的球心至曲线上某一点 B 的连线与长轴的夹角,点 B 至短轴的距离为极板的半径(r),其中, $\alpha < \beta$;

[0024] (2)、侧瓣的确定,根据步骤一中确定的拉压分界设计点,选择实际的拉压分界设计点为 P,点 P 对应的球心角 θ 为 $(\alpha - 5^\circ) \sim (\alpha + 5^\circ)$, 点 B 与实际拉压分界点 P 之间的第一段侧瓣(3)选用轴长比为 λ 的椭圆形单曲率弧板,实际拉压分界点 P 至长轴之间的第二段侧瓣 4 选用轴长比 λ_1 为 $1 < \lambda_1 < \sqrt{2}$ 的椭圆形单曲率弧板,第一段侧瓣 3、第二段侧瓣 4 及两个极板 2 组装焊接后构成封闭的多面体容器;

[0025] 步骤三、充液成形,向步骤二的多面体容器充满传压液体介质,通过液压泵来增加容器内部压力,在内部压力的作用下,使壳体发生塑性变形,多面体容器最终成形为椭球容器,成形压力由 $p = \frac{2t}{a} \sigma_s$ 得到,其中, p 为成形压力, t 为壁厚, a 为长半轴长, σ_s 为容器所选材料的屈服应力, σ_s 由单向拉伸试验测得。

[0026] 本实施方式中对于 $\lambda > \sqrt{2}$ 的双轴长比扁椭球液压成形,成形过程中,曲率半径大的极点部位先发生塑性变形,随后壳体中部分区域发生塑性变形并逐渐向下扩展到赤道点,赤道焊缝点最后发生塑性变形。

[0027] 本实施方式的充液介质优选用水或油。

[0028] 具体实施方式二:结合图 5-图 8 说明,本实施方式与具体实施方式一的不同点是:步骤二中的夹角 β 的取值范围为 $65^\circ \sim 80^\circ$ 。满足侧瓣成形时变形的需要。其它与具体实施方式一相同。

[0029] 具体实施方式三:结合图 5-图 8 说明,本实施方式与具体实施方式一或二的不同点是:步骤二中的夹角 β 的取值范围为 75° 。其它与具体实施方式二相同。

[0030] 具体实施方式四:结合图 5-图 8 说明,本实施方式与具体实施方式一的不同点是:步骤二中的夹角 β 的取值范围为 70° 。其它与具体实施方式二相同。

[0031] 具体实施方式五:结合图 5-图 8 说明,本实施方式与具体实施方式一、二或四的不同点是:所述步骤二中实际拉压分界点 P 至长轴之间的第二段侧瓣 4 选用轴长比 λ_1 为 1 的圆弧板。本实施方式的轴长比 λ_1 为 1 时的容器为球容器。

[0032] 下面结合具体实施例进一步说明本发明

[0033] 实施例 1

[0034] 长轴和短轴比 $\lambda=1.5$ 时,见图 6-图 8,经计算可得相应的设计球心角 α 为 12 度,此时,纬向应力 σ_θ 为 0,拉压分界设计点 A,从极板到该拉压分界设计点 A 纬向应力为拉应力,从该拉压分界设计点 A 到长半轴(赤道),纬向应力为压应力。为使内压作用下椭球不因纬向压应力而产生起皱现象,将该椭球结构设计为双轴长比结构。由于胀形用椭球有上下极板和若干个侧瓣构成,上下极板由圆板构成,其直径由角度 β 决定,角度 β 的取值范围一般为 60 度至 80 度之间;确定实际拉压分界点 P,此时对应的球心角 θ 为 15 度,从极板到该实际拉压分界点 P 的第一段侧瓣由轴长比 λ 为 1.5 的椭圆形单曲率弧板构成,侧瓣个数为 6 个或 6 个以上,侧瓣个数可根据要制造的椭球形容器长轴的直径的大小取适当的数目,一般来说,直径越大,侧瓣数目就越多。从实际拉压分界点 P 到长半轴(赤道)由轴长比 λ_1 小于 $\sqrt{2}$ 的椭圆形单曲率弧板或 λ_1 等于 1 的圆形弧板构成,其个数同 λ 为 1.5 的椭圆形单曲率弧板个数。第一段侧瓣和第二段侧瓣的椭圆形单曲率弧板均通过弯卷成形,其过渡处通过折边实现接合。对于 $\lambda > \sqrt{2}$ 的双轴长比扁椭球液压成形,成形过程中,曲率半径大的极点部位先发生塑性变形,随后壳体中部分区域发生塑性变形并逐渐向下扩展到赤道点,赤道焊缝点最后发生塑性变形。本实施例的成形效率相比板限位法提高了 11%;本发明的工作效率相比中心管限位法提高了 20%。

[0035] 实施例 2

[0036] 长轴和短轴比 $\lambda=1.8$ 时,见图 6-图 8,经计算可得相应的设计球心角 α 为 19 度,此时,纬向应力 σ_θ 为 0,拉压分界设计点 A,从极板到该拉压分界设计点 A 纬向应力为拉应力,从该拉压分界设计点 A 到长半轴(赤道),纬向应力为压应力。为使内压作用下椭球不因纬向压应力而产生起皱现象,将该椭球结构设计为双轴长比结构。由于胀形用椭球有上下极板和若干个侧瓣构成,上下极板由圆板构成,其直径由角度 β 决定,角度 β 的取值范围一般为 60 度至 80 度之间;确定实际拉压分界点 P,此时对应的球心角 θ 为 23 度,从极板到该实际拉压分界点 P 的第一段侧瓣由轴长比 λ 为 1.8 的椭圆形单曲率弧板构成,侧瓣个数为 6 个或 6 个以上,侧瓣个数可根据要制造的椭球形容器长轴的直径的大小取适当的数目,一般来说,直径越大,侧瓣数目就越多。从实际拉压分界点 P 到长半轴(赤道)由轴长比

λ_1 小于 $\sqrt{2}$ 的椭圆形单曲率弧板或 λ_1 等于 1 的圆形弧板构成,其个数同 λ 为 1.8 的椭圆形单曲率弧板个数。第一段侧瓣和第二段侧瓣的椭圆形单曲率弧板均通过弯卷成形,其过渡处通过折边实现接合。对于 $\lambda > \sqrt{2}$ 的双轴长比扁椭球液压成形,成形过程中,曲率半径大的极点部位先发生塑性变形,随后壳体中部分区域发生塑性变形并逐渐向下扩展到赤道点,赤道焊缝点最后发生塑性变形。本实施例的成形效率相比板限位法提高了 12%;本发明的工作效率相比中心管限位法提高了 22%。

[0037] 实施例 3

[0038] 长轴和短轴比 $\lambda = 2.0$ 时,见图 6-图 8,经计算可得相应的设计球心角 α 为 20 度,此时,纬向应力 σ_θ 为 0,拉压分界设计点 A,从极板到该拉压分界设计点 A 纬向应力为拉应力,从该拉压分界设计点 A 到长半轴(赤道),纬向应力为压应力。为使内压作用下椭球不因纬向压应力而产生起皱现象,将该椭球结构设计为双轴长比结构。由于胀形用椭球有上下极板和若干个侧瓣构成,上下极板由圆板构成,其直径由角度 β 决定,角度 β 的取值范围一般为 60 度至 80 度之间;确定实际拉压分界点 P,此时对应的球心角 θ 为 25 度,从极板到该实际拉压分界点 P 的第一段侧瓣由轴长比 λ 为 2.0 的椭圆形单曲率弧板构成,侧瓣个数为 6 个或 6 个以上,侧瓣个数可根据要制造的椭球形容器长轴的直径的大小取适当的数目,一般来说,直径越大,侧瓣数目就越多。从实际拉压分界点 P 到长半轴(赤道)由轴长比 λ_1 小于 $\sqrt{2}$ 的椭圆形单曲率弧板或 λ_1 等于 1 的圆形弧板构成,其个数同 λ 为 2.0 的椭圆形单曲率弧板个数。第一段侧瓣和第二段侧瓣的椭圆形单曲率弧板均通过弯卷成形,其过渡处通过折边实现接合。对于 $\lambda > \sqrt{2}$ 的双轴长比扁椭球液压成形,成形过程中,曲率半径大的极点部位先发生塑性变形,随后壳体中部分区域发生塑性变形并逐渐向下扩展到赤道点,赤道焊缝点最后发生塑性变形。本实施例的成形效率相比板限位法提高了 14%;本发明的工作效率相比中心管限位法提高了 26%。

[0039] 工作原理

[0040] 薄壁壳体在内压作用下,其应力分布规律与主曲率半径具有一定的对应规律,如图 8,由薄壳的薄膜理论,旋转椭球壳的经向应力 σ_ϕ 和纬向应力 σ_θ 分别为:

$$[0041] \quad \sigma_\phi = \frac{p}{2t} r_2, \quad \sigma_\theta = \frac{p r_2}{2t} \left(2 - \frac{r_2}{r_1} \right)$$

[0042] 且

$$[0043] \quad r_1 = \lambda b k^3$$

$$[0044] \quad r_2 = \lambda b k$$

[0045]

$$k = \frac{1}{\sqrt{(\lambda^2 - 1) \sin^2 \phi + 1}}$$

[0046] 以上述式中, r_1 为第一主曲率半径; r_2 为第二主曲率半径; t 为壳体壁厚; p 为成形内压; b 为非旋转半轴长; c 为旋转半轴长; λ 为椭球轴长比, $\lambda = b / c$; ϕ 为 y 轴与 r_2 的夹角,如图 8 所示。

[0047] 当轴长比 $1 < \lambda < \sqrt{2}$ 时,壳体所受纬向应力均为拉应力; $\lambda = \sqrt{2}$ 时,壳体所受纬向应力也为拉应力,但从极点到赤道,纬向应力逐步减小,在赤道带纬向应力为0;在 $\lambda > \sqrt{2}$ 时,从极点到赤道,纬向应力逐步减小,并由拉应力转为压应力,在赤道带纬向应力为压应力,正是这种压应力的存在导致在成形该种结构的椭球时,赤道带发生压缩失稳而产生起皱。对于 $\lambda > \sqrt{2}$ 椭球容器,为避免胀形过程中赤道带附近在纬向压应力作用下,发生失稳起皱,将此类容器的胀前结构设计为双轴长比结构,以纬向应力为0处(或纬向应力大于0的某处)为实际拉压分界点,从极点到该分界点的纬向应力为拉应力区域,保留原轴长比结构,从该分界点到赤道纬向应力为压应力区域,采用 λ 小于 $\sqrt{2}$ 的椭球体或 λ 等于1的球体结构,如图6或图7所示。

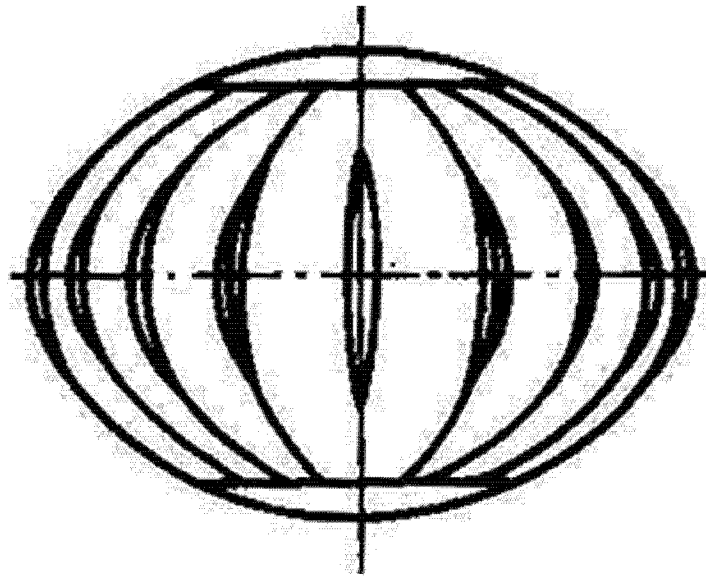


图 1

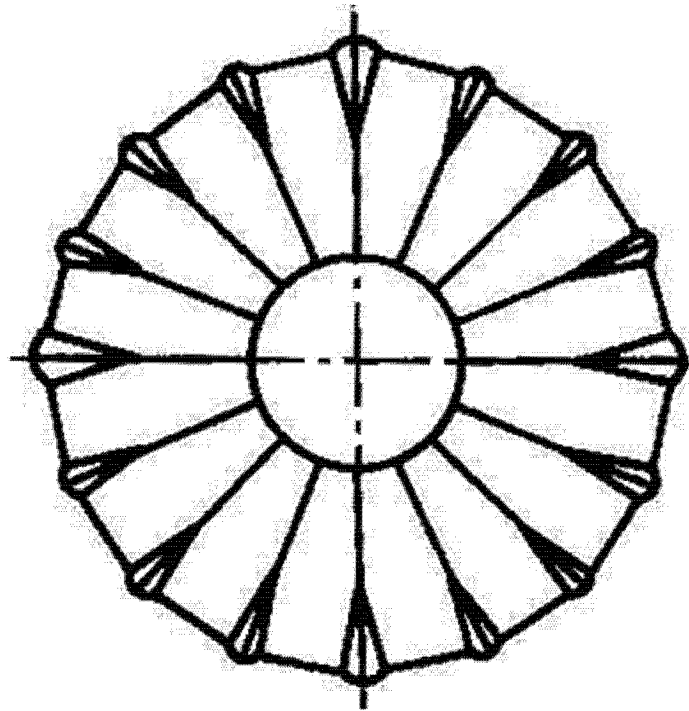


图 2

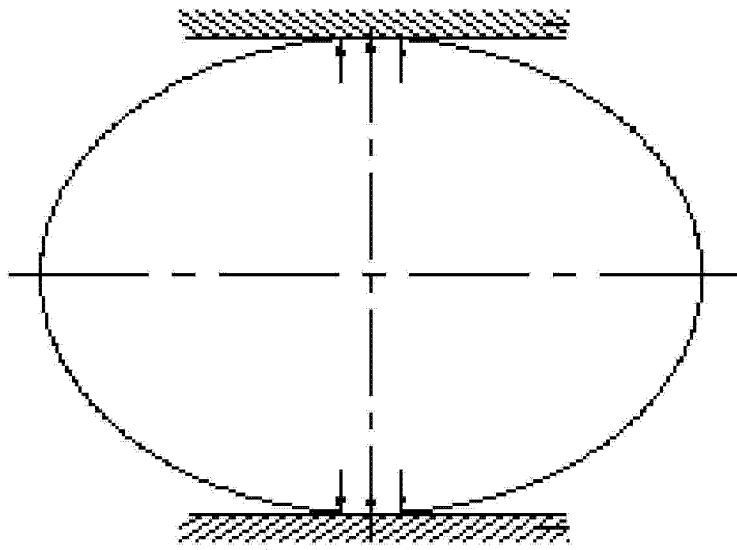


图 3

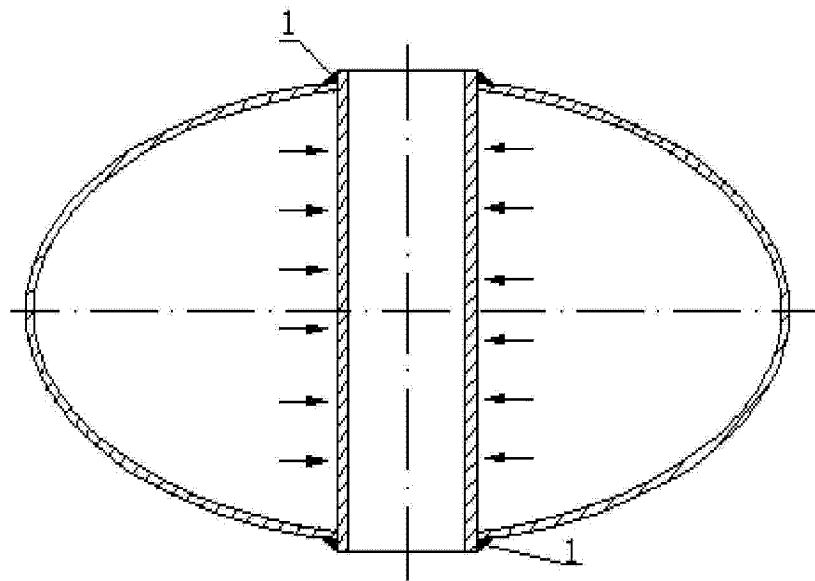


图 4

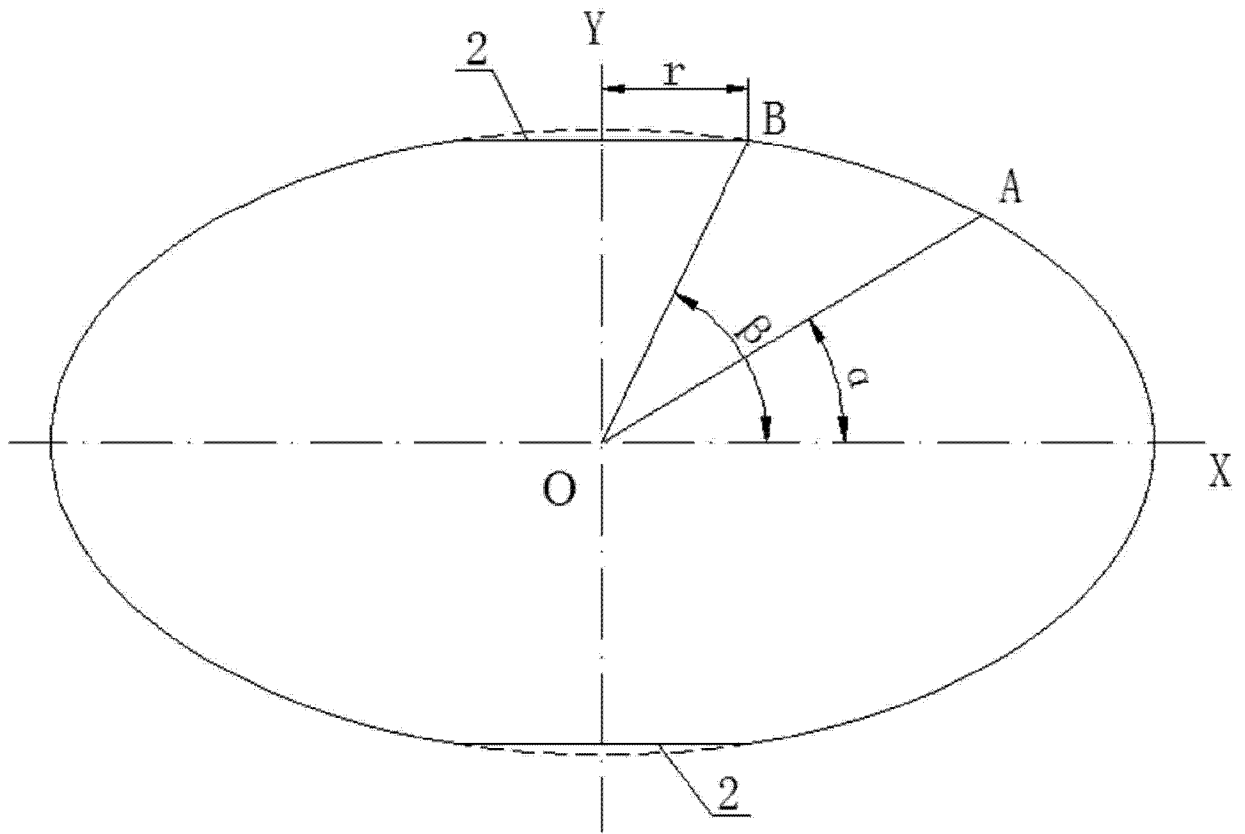


图 5

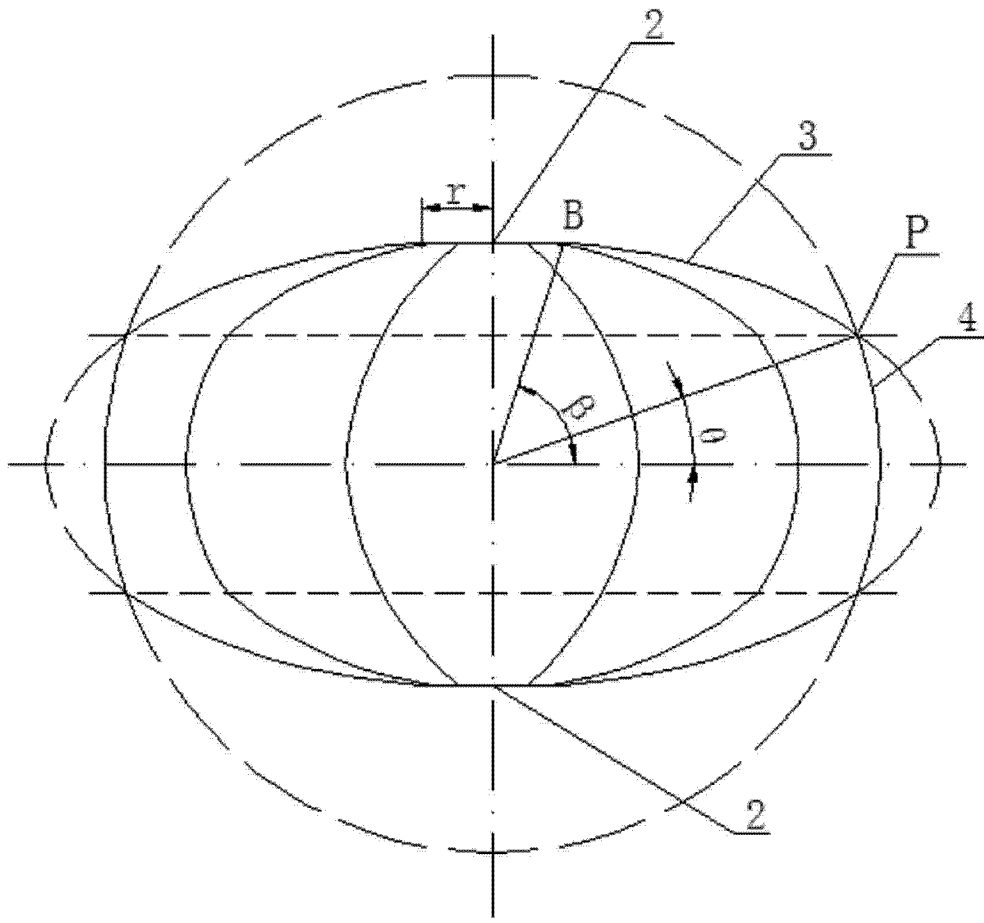


图 6

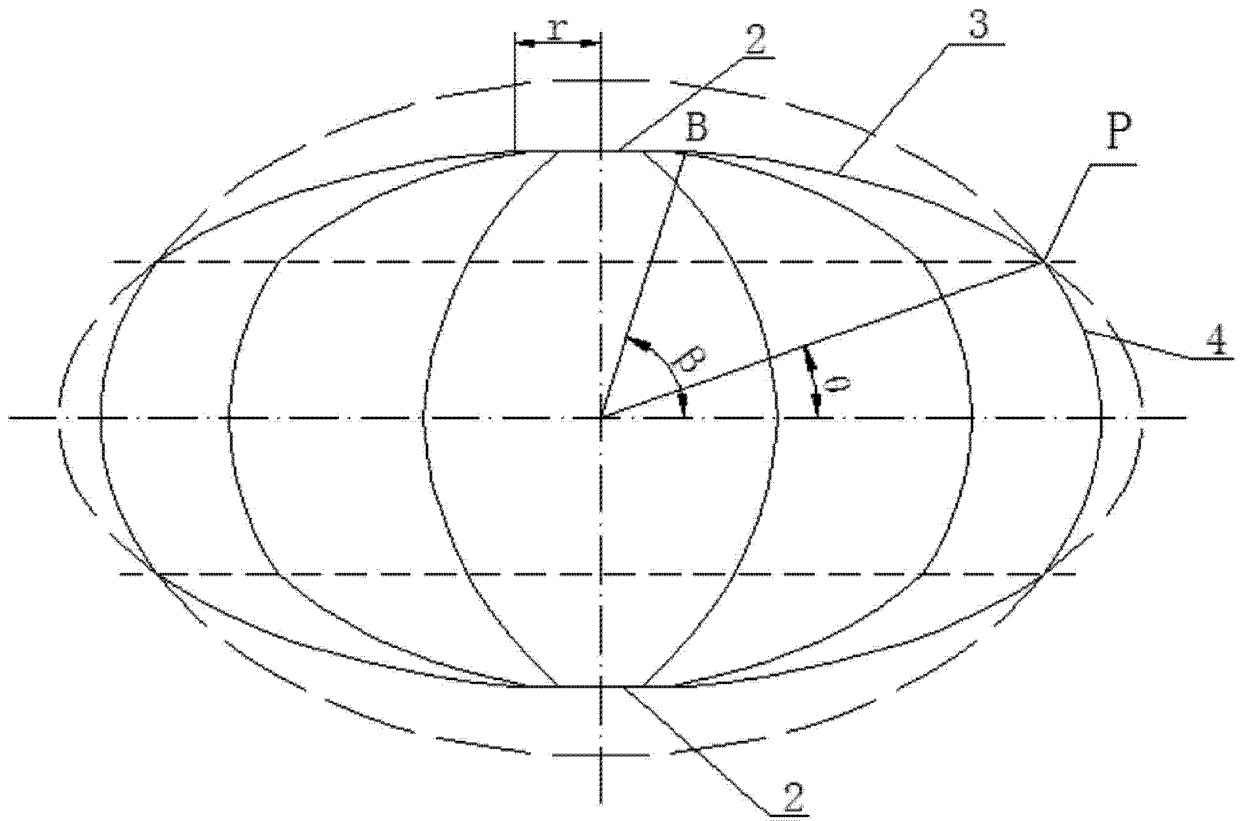


图 7

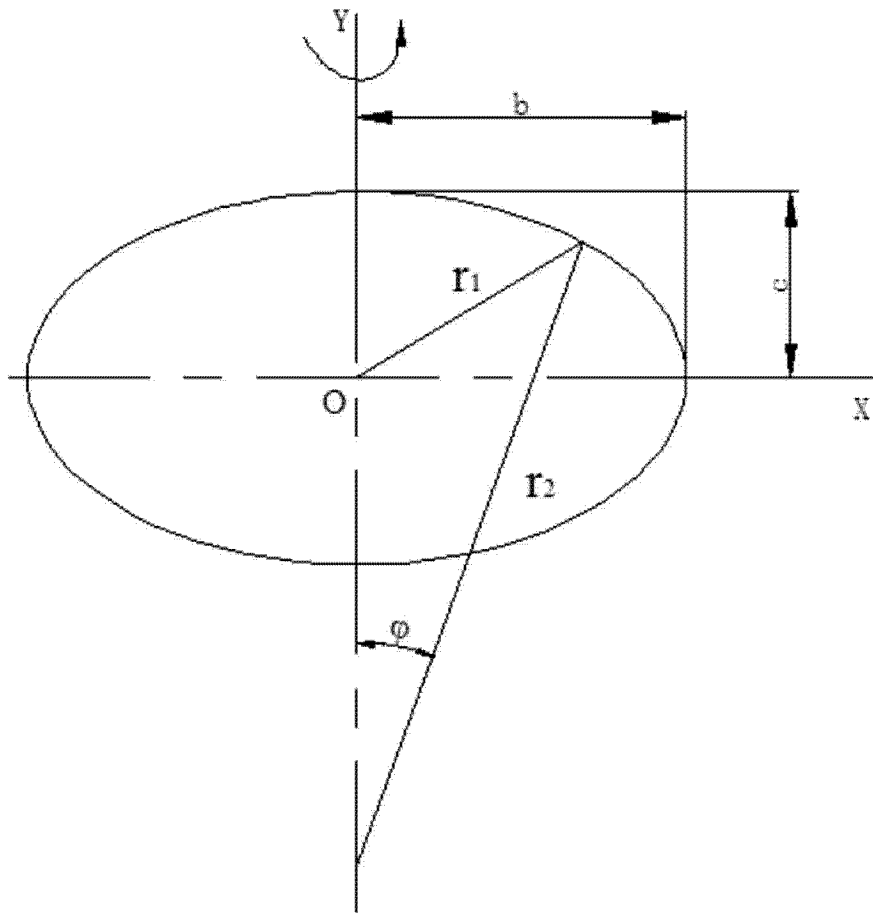


图 8