



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116834983 B

(45) 授权公告日 2023. 10. 31

(21) 申请号 202311109030.1

(22) 申请日 2023.08.31

(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 116834983 A

(43) 申请公布日 2023.10.03

(73) 专利权人 中国科学院力学研究所
地址 100190 北京市海淀区北四环西路15号

(72) 发明人 范志杰 王俊表 陈来夫

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限责
任公司 11251
专利代理师 金怡

(51) Int. Cl.
B64G 7/00 (2006.01)

(56) 对比文件

CN 102590878 A, 2012.07.18

CN 115057015 A, 2022.09.16

CN 102520699 A, 2012.06.27

JP H0632299 A, 1994.02.08

JP H05338600 A, 1993.12.21

DE 3803712 A1, 1989.08.17

US 2011256512 A1, 2011.10.20

张孝谦, 袁龙根, 吴文东, 田兰桥, 姚康庄. 国家微重力实验室百米落塔实验设施的几项关键技术. 中国科学E辑. 2005, (05), 全文.

审查员 李红英

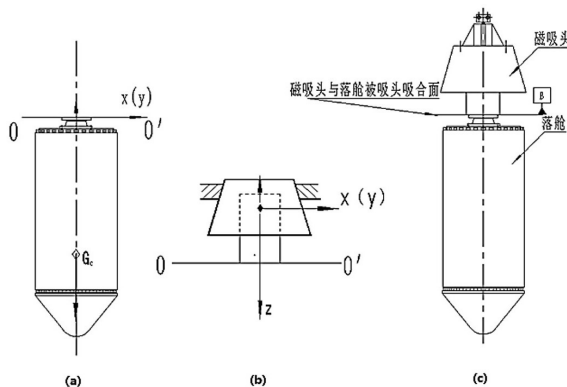
权利要求书2页 说明书5页 附图9页

(54) 发明名称

一种落塔实验落舱的质心快速调整方法

(57) 摘要

本发明公开一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,属于航天领域。本发明利用单丝悬吊旋转测距法和基准面定位法相结合,快速调整实验落舱的质心位置,最终实现实验落舱的重力线与其结构中心线重合。本发明让实验落舱在微重力实验的自由落体过程中的姿态保持理想的最小偏移和旋转,从而保证实验落舱内的试验载荷处于理想的微重力环境。



1. 一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤1、用单丝悬吊旋转测距法精确测量并调整实验落舱的质心,所述单丝悬吊旋转测距法包括:利用一根钢丝悬吊实验落舱的被吸合面的几何中心点,在实验落舱的舱桶下端正交4个方向选取特征点,在特征点外一固定位置设置测量点,测量特征点和测量点的距离;测得舱桶相对于重力线的同轴度,根据同轴度对实验落舱加配重调整质心,直到同轴度达到规定值,完成质心调整;

步骤2、选取实验落舱的被吸合面作为基准面,单丝悬吊实验落舱并使实验落舱稳定至准静态,用高精度的水平仪测量并记忆x轴水平度倾角 α_x 和y轴水平度倾角 α_y 作为实验落舱的基准面的双轴水平度倾角,水平仪以记忆的实验落舱的基准面的双轴水平度倾角作为实验落舱的基准面的零基准,并设定此时的水平仪的测量值为零;

步骤3、计算实验落舱的特征点的质心允许偏移量 $\Delta 0$ 和实验落舱的基准面允许的对应轴向水平倾角 $\beta 0$ 的对应关系,确定并设定水平仪的双轴倾角允许范围;水平仪的测量值持续保持在与所述步骤2中的实验落舱的基准面的零基准的误差范围内,则发出连续音频提示信号,表示水平仪标定实验落舱完成;以 $\pm \beta 0$ 作为水平仪的双轴倾角允许范围;水平仪的双轴倾角为水平仪的x轴水平度倾角 β_x 和水平仪的y轴水平度倾角 β_y ;

步骤4、单丝悬吊加载实验载荷后的实验落舱,使其稳定至准静态,放置设定零基准后的水平仪于实验落舱的基准面的中心固定位置,根据水平仪的模拟气泡位置的偏差方向及大小,加配重调整实验落舱的质心,直到水平仪发出连续提示音表示质心调整快速完成,即表示实验落舱的基准面的水平度与所述步骤2中的实验落舱的基准面的零基准重合;或者观察水平仪的模拟气泡位置定位于中心点时,水平仪的x轴水平度倾角 β_x 和y轴水平度倾角 β_y 均处于水平仪的双轴倾角允许范围 $\pm \beta 0$ 内,质心调整快速完成。

2. 根据权利要求1所述的一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,其特征在于,所述步骤1包括:对实验落舱质心调整前特征点的轴向偏心值 $\Delta 1$ 设置质心允许偏移量 $\Delta 0$,通过调整配重的大小使 $\Delta 1 \leq \Delta 0$ 。

3. 根据权利要求1所述的一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,其特征在于,所述步骤1包括:选取实验落舱的被吸合面作为基准面,单丝悬吊基准面的几何中心点,旋转实验落舱360度,并分别对0度、90度、180度、270度四个正交位置的特征点进行准静态测距,得到全角度范围内4个特征点的相对偏心值,即 Δe_1 、 Δe_2 、 Δe_3 、 Δe_4 ;分别计算x轴向的偏心值 $\Delta x = (\Delta e_1 - \Delta e_3) / 2$ 和y轴向的偏心值 $\Delta y = (\Delta e_2 - \Delta e_4) / 2$,根据x轴向的偏心值 Δx 和y轴向的偏心值 Δy 对实验落舱加配重调整质心;如此循环进行n次测量,同时加配重对正交4个方向上的同轴度进行调整,直到同轴度达到质心允许偏移量 $\Delta 0$ 以内,即: $\Delta x \leq \Delta 0$, $\Delta y \leq \Delta 0$,实现实验落舱的结构中心线与重力线重合。

4. 根据权利要求1所述的一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,其特征在于,所述步骤2包括:设置水平仪的x轴水平度倾角 $\beta_x = 0$ 和水平仪的y轴水平度倾角 $\beta_y = 0$ 。

5. 根据权利要求2所述的一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,其特征在于,所述步骤3包括:计算质心允许偏移量 $\Delta 0$ 和实验落舱的基准面允许的对应轴向水平倾角 $\beta 0$ 的对

应关系： $\frac{2\pi L}{\Delta 0} = \frac{360}{\beta 0}$ ，得到 $\beta 0 = 360 * \Delta 0 / 2\pi L$ ；其中，L为实验落舱的基准面到特征点的距离， π 为圆周率；确定并设定水平仪的双轴倾角允许范围为 $\pm \beta 0$ ，当 $\beta_x \leq \beta 0$ 且 $\beta_y \leq \beta 0$ 时，发出连续音频提示信号，表示水平仪完成对实验落舱的标定。

6. 根据权利要求1所述的一种落塔实验落舱的质心快速调整方法，其特征在于，所述步骤4中，水平仪通过无线通讯将实验落舱的质心数据实时传输到电脑端存档。

一种落塔实验落舱的质心快速调整方法

技术领域

[0001] 本发明属于航天领域,涉及太空探索地基模拟微重力实验环境领域,具体涉及一种落塔实验落舱的质心快速调整方法。

背景技术

[0002] 微重力落塔实验平台是在地球表面模拟实现太空微重力环境的大型地基实验设施,是进行微重力科学研究很重要、很经济的实验平台。如图1所示,是位于北京中关村的中国科学院力学研究所微重力落塔实验平台(以下简称北京落塔)落塔实验示意图,它主要由百米落塔、实验落舱、电磁悬吊释放系统、实验落舱回收系统以及控制系统等组成。实验落舱是微重力落塔实验平台的重要组成部分,它负责承载微重力实验的实验载荷装置。实验时,实验落舱由电磁悬吊机构提升至北京落塔83米处平台,由电磁释放系统(磁吸头)释放,自由落体下落到22米处利用回收网进行回收。实验落舱在自由落体过程中的姿态不仅关系到实验落舱能否准确落入回收网进行安全回收,还会直接影响到微重力实验的结果和精度。为了避免实验落舱在下落过程中发生位置偏移而出现重大安全事故,保证实验落舱的下落轨迹是竖直向下而不发生偏移和自身旋转,在每一次微重力实验之前都需要对实验落舱的质心进行精确调整。

[0003] 已有的质心测量和调整方法很多,如回转式质量质心测试法,旋转式力矩法等,大都是采用基准测试平台方法,将被测物体放置在平台上,旋转基准平台和被测物体,被测平台下面采用悬臂结构支撑,并连接力传感器,通过旋转机构改变被测体相对于传感器的位置关系,测量物体及平台旋转一周的受力变化,使静态参数的单次偶然测量转变为相对“动态”的多次定点测量,得到多个测量角度位置下传感器测量值,通过差值计算确定质心位置,再通过配重调整质心位置,如此重复测量及调整质心,直至达到技术指标要求。其物理模型结构示意图如图2所示。这些方法的优点是原理简单可靠,且测量精度高。缺点是配套检测设备造价昂贵,测量及调整质心时间周期较长,而且由于落塔实验落舱的特殊结构和初始释放姿态要求,这些方法不太适合实验落舱质心调整的要求。

发明内容

[0004] 为解决上述技术问题,本发明提供一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,基于单丝悬吊旋转测距法和基准平面法相结合的方式,快速实现实验落舱质心的调整。本发明让实验落舱在微重力实验的自由落体过程中的姿态保持理想的最小偏移和旋转,从而保证实验落舱内的试验载荷处于理想的微重力环境。

[0005] 为达到上述目的,本发明采用如下技术方案:

[0006] 本发明用单丝悬吊旋转测距法结合基准平面法标定实验落舱;再以标定的实验落舱的基准面为基准快速调整实验落舱质心,包括如下步骤:

[0007] 一种落塔实验落舱的质心快速调整方法,其特征在于,包括以下步骤:

[0008] 步骤1、用单丝悬吊旋转测距法精确测量并调整实验落舱的质心,所述单丝悬吊旋

转测距法包括:利用一根钢丝悬吊实验落舱的被吸合面的几何中心点,在实验落舱的舱桶下端正交4个方向选取特征点,在特征点外一固定位置设置测量点,测量特征点和测量点的距离;测得舱桶相对于重力线的同轴度,根据同轴度对实验落舱加配重调整质心,直到同轴度达到规定值,完成质心调整;

[0009] 步骤2、选取实验落舱的被吸合面作为基准面,单丝悬吊实验落舱并使实验落舱稳定至准静态,用高精度的水平仪测量并记忆x轴水平度倾角 α_x 和y轴水平度倾角 α_y 作为实验落舱的基准面的双轴水平度倾角,水平仪以记忆的实验落舱的基准面的双轴水平度倾角作为实验落舱的基准面的零基准,并设定此时的水平仪的测量值为零;

[0010] 步骤3、计算实验落舱的特征点的质心允许偏移量 ΔO 和实验落舱的基准面允许的对应轴向水平倾角 β_0 的对应关系,确定并设定水平仪的双轴倾角允许范围;水平仪的测量值持续保持在与前述步骤2中的实验落舱的基准面的零基准的误差范围内,则发出连续音频提示信号,表示水平仪标定实验落舱完成;以 $\pm\beta_0$ 作为水平仪的双轴倾角允许范围;水平仪的双轴倾角为水平仪的x轴水平度倾角 β_x 和水平仪的y轴水平度倾角 β_y ;

[0011] 步骤4、单丝悬吊加载实验载荷后的实验落舱,使其稳定至准静态,放置设定零基准后的水平仪于实验落舱的基准面的中心固定位置,根据水平仪的模拟气泡位置的偏差方向及大小,加配重调整实验落舱的质心,直到水平仪发出连续提示音表示质心调整快速完成,即表示实验落舱的基准面的水平度与前述步骤2中的实验落舱的基准面的零基准重合;或者观察水平仪的模拟气泡位置定位于中心点时,水平仪的x轴水平度倾角 β_x 和y轴水平度倾角 β_y 均处于水平仪的双轴倾角允许范围 $\pm\beta_0$ 内,质心调整快速完成。

[0012] 本发明可以使得自由状态的磁吸头吸合面的水平度与实验落舱的被吸合面的水平度最大限度重合。

[0013] 本发明和已有的质心调整方法相比,具有如下有益效果:

[0014] 1、一次准静态测量即可代替多次旋转的多点准静态测量,优化避免了实验落舱从动态到静态的多次稳态过程。

[0015] 2、一次配重即可完成实验落舱质心调整,无需多次重复,操作简单可靠。

[0016] 3、质心调整时间显著缩短,能大幅度提升实验效率。

[0017] 4、由于缩减了实验周期,实验落舱内电池组能为试验载荷提供更充足的用电负荷。

[0018] 5、可以优化实验落舱的初始释放姿态,减小释放时的外力扰动。

[0019] 本发明提供的基准平面法能快速调整实验落舱的质心,在北京落塔实验平台经过验证实施,达到实验落舱质心技术指标要求,质心调整时间由原来的平均40分钟左右,下降到平均10分钟左右,且受人为因素影响较小,对实验技术人员操作水平无严格要求,降低了劳动强度。

附图说明

[0020] 图1为微重力落塔实验平台落塔实验示意图;

[0021] 图2为已有的一种旋转式力矩法测量质心的物理模型结构示意图;

[0022] 图3为实验落舱的初始释放姿态组图;其中,图(a)为实验落舱的理想初始释放姿态,图(b)为电磁释放系统的磁吸头的理想姿态,图(c)为理想的组合初始释放姿态;

[0023] 图4为实验落舱的自由落体姿态组图;其中,图(a)为实验落舱调整质心前的姿态,图(b)为实验落舱调整质心后的理想姿态;

[0024] 图5a为单丝悬吊旋转测距法调整质心过程示意图;

[0025] 图5b为单丝悬吊旋转测距法调整质心过程偏心值示意图;

[0026] 图6为单丝悬吊旋转测距法调整质心测量模型示意图组图;其中,图(a)为单丝悬吊旋转测距法调整质心第一次测量模型示意图,图(b)为单丝悬吊旋转测距法调整质心第n次测量模型示意图;

[0027] 图7为用水平仪标定实验落舱示意图组图;其中,图(a)为水平仪记忆实验落舱X轴向水平度,图(b)为水平仪记忆实验落舱Y轴向水平度,图(c)为水平仪设定X轴向基准值,图(d)为水平仪设定Y轴向基准值;

[0028] 图8为实验落舱的偏心值和基准面倾角的对应关系示意图;

[0029] 图9为基准面定位法快速调整质心示意图组图;其中,图(a)为调整X轴向偏差示意图,图(b)为调整Y轴向偏差示意图,图(c)为完成X轴向偏差调整示意图,图(d)为完成Y轴向偏差调整示意图;

[0030] 图10为基准面定位法优化实验落舱初始释放姿态示意图组图;其中,图(a)为磁吸头自由状态姿态图,图(b)为实验落舱的自由落体姿态图。

具体实施方式

[0031] 以下结合附图,通过一个具体的实施例,对本发明进行详细说明。

[0032] 实验落舱在实验过程中的姿态是保证微重力实验精度的关键因素,实验落舱的姿态包括初始释放姿态和下落过程姿态。

[0033] 如图3所示为实验落舱的初始释放姿态组图,其中图3的图(a)为实验落舱的理想初始释放姿态,图3的图(b)为电磁释放系统的磁吸头的理想姿态,图3的图(c)为理想的组合初始释放姿态。图中 $0, 0'$ 表示理想的基准水平平面, $x(y)$ 表示水平面x轴向和y轴向, G_c 为实验落舱质心, Z 表示重力线方向。实验落舱的初始释放姿态主要由磁吸头吸合面和实验落舱的被吸合面(基准面B)决定,电磁悬吊释放系统对实验落舱有严格的技术要求。由于电磁悬吊释放系统采用的是十字万向节悬吊结构,为了保证微重力实验的精度,实验落舱在释放时必须严格避免外界力的干扰,实验落舱的初始释放姿态要求实验落舱的被吸合面必须与自由悬吊状态时的磁吸头吸合面重合,而此时实验落舱的结构中心轴线也必须与重力线重合,否则会产生横向干扰力。而要做到这一点,除了要求实验落舱的加工精度必须保证舱体结构中心轴线与悬吊吸合面垂直外,还要求实验落舱处于电磁悬吊释放状态时,其结构中心轴线必须与重力线重合。然而仅仅依靠实验落舱的结构精度和组装精度来保证结构中心线与重力线重合,实际上难度很大,误差也很难消除。这就要求实验前必须对实验落舱的质心进行精确调整。并且自由状态的磁吸头吸合面水平度与实验落舱被吸合面水平度尽可能重合。

[0034] 如图4所示为实验落舱的自由落体姿态组图;其中图4的图(a)为实验落舱调整质心前的姿态;图4的图(b)为实验落舱调整质心后的理想姿态;图中 β 为实验落舱被吸合面相对于零基准的轴向倾角, G_c 为质心, Z 为重力线方向, $\Delta 1$ 为实验落舱质心调整前特征点的轴向偏心值, $\Delta 2$ 为加配重P调整质心的力臂。实验落舱的下落过程姿态主要由实验落舱的

设计结构及加工精度决定。为了保证实验落舱在下落过程中保持竖直向下,不发生偏移和旋转,除了要求实验落舱几何结构对称、外表光滑以外,还要求实验落舱的结构中心线与重力线高度重合。实验落舱的几何结构由加工精度决定,而结构中心线与重力线重合则需要加配重来调整实验落舱的质心。实验落舱理想的下落姿态应该是 $\Delta 1$ 趋近于零。但是理想的绝对零误差是不存在的。任何物体不可避免会存在一些不平衡,如果无限度地减少不平衡量就要提高成本。因此,根据实验需要,对实验落舱的特征点的偏心值规定一个适当的质心允许偏移量,用钢丝F悬吊实验落舱并通过调整配重P的大小来调整质心,达到规定指标要求。

[0035] 如图5a,图5b所示为用单丝悬吊旋转测距法调整实验落舱质心。选取实验落舱的被吸合面作为基准面,用一根钢丝悬吊基准面的几何中心点,让实验落舱处于自由悬吊状态,在实验落舱的舱桶下端正交4个方向选取特征点,所选特征点相对于几何中心轴线对称,在特征点外一固定位置设置测量基点A,对特征点进行距离测量,如图5a的左图所示。旋转实验落舱360度,到达每一个特征点时,稳定实验落舱至准静态,并分别对0度、90度、180度、270度四个正交位置的特征点进行准静态测距;得到全角度范围内4个特征点的相对偏心值,即 $\Delta e1$ 、 $\Delta e2$ 、 $\Delta e3$ 、 $\Delta e4$;分别计算X轴向的偏心值 $\Delta x = (\Delta e1 - \Delta e3) / 2$ 和Y轴向的偏心值 $\Delta y = (\Delta e2 - \Delta e4) / 2$,据此对实验落舱加配重P调整质心,如图5b所示。如此循环进行n次测量,同时加配重P对正交4个方向上的同轴度进行调整,直到同轴度达到规定的特征点的质心允许偏移量 $\Delta 0$ 以内,即: $\Delta x \leq \Delta 0$, $\Delta y \leq \Delta 0$,实现实验落舱的结构中心线与重力线重合,如图5a的右图所示。

[0036] 如图6的图(a)所示为单丝悬吊旋转测距法调整质心第一次测量模型示意图,图(b)所示为单丝悬吊旋转测距法调整质心第n次测量模型示意图;

[0037] 以实验落舱基准面B的水平度为基准标定实验落舱,如图7所示。精确调整质心后的实验落舱处于悬吊准静止状态,放置水平仪于基准面的中心固定位置,用水平仪测量并记忆实验落舱基准面的x轴水平度倾角 α_x 和y轴水平度倾角 α_y 作为双轴水平度倾角。如图7的图(a),图7的图(b)所示。设置水平仪以记忆的实验落舱基准面的双轴水平度倾角作为实验落舱的基准面的零基准,即设置水平仪当前双轴水平度倾角值 $\beta_x = 0$, $\beta_y = 0$ 。如图7的图(c),图7的图(d)所示。根据实验落舱质心调整前特征点的轴向偏心值 $\Delta 1$ 和实验落舱基准

面相对于零基准的轴向倾角 β 的对应关系: $\frac{2\pi L}{\Delta 1} = \frac{360}{\beta}$ 得到: $\beta = 360 * \Delta 1 / 2\pi L$,

$\beta_0 = 360 * \Delta 0 / 2\pi L$;

[0038] 其中, $\Delta 0$ 为特征点的质心允许偏移量, β_0 为实验落舱基准面允许的对应轴向水平倾角(即 β 的最大允许值), L 为基准面到特征点的距离, π 为圆周率。

[0039] 如图8所示。设定水平仪的双轴倾角允许范围 $\pm \beta_0$,设置当水平仪的测量值持续保持在零基准的允许范围内,即 $\beta_x \leq \beta_0$ 且 $\beta_y \leq \beta_0$, (其中水平仪的x轴水平度倾角为 β_x , y轴水平度倾角为 β_y), 则发出连续音频提示信号,至此水平仪完成标定实验落舱。

[0040] 如图9所示,利用基准面定位法快速调整实验落舱质心。标定后的实验落舱的几何形状不再发生变化,在微重力实验之前,实验落舱内加载实验载荷后其质心会发生不同程

度的偏移。单丝悬吊加载实验载荷后的实验落舱并稳定至准静态,放置设定零基准后的水平仪于被吸合面B(即基准面)中心固定位置,根据水平仪模拟气泡位置偏差方向及大小加配重调整实验落舱质心,直到水平仪发出连续提示音,即表示实验落舱的基准面水平度与零基准重合,完成质心快速调整。也可以观察模拟气泡位置定位于中心点,当前的水平仪的x轴水平度倾角 β_x 和y轴水平度倾角 β_y 均处于双轴倾角允许范围 $\pm\beta_0$ 范围内,质心调整快速完成。水平仪通过无线通讯将实验落舱的质心数据实时传输到电脑端存档。如图9的图(a)为调整X轴向偏差示意图,图9的图(b)为调整Y轴向偏差示意图,图9的图(c)和图9的图(d)为完成质心调整的实验落舱示意图。

[0041] 如图10所示,本发明的基准面定位法还能优化实验落舱的初始释放姿态。初始释放姿态主要由磁吸头吸合面的自由状态水平度与实验落舱被吸合面零基准水平度之间的重合度决定,这两个平面的水平度重合度越高,实验落舱释放时受到的扰动力越小。当磁吸头吸合实验落舱时,这种不重合度误差在各个方向上有可能叠加或者抵减。如图10的图(a)为磁吸头自由状态姿态图,如图10的图(b)为实验落舱的姿态图,图中 $0,0'$ 表示理想基准水平面,x(y)表示水平面x轴向和y轴向。首先测量磁吸头吸合面x轴水平度倾角 γ_x 和y轴水平度倾角 γ_y ,再与水平仪记忆的实验落舱被吸合面B的x轴水平度倾角 α_x 和y轴水平度倾角 α_y 对比,按照误差抵减原则,选择吸合面与被吸合面的对接方向,标记并确定相互之间的对接位置,这样就能保证吸合面与被吸合面之间的水平不重合度值达到最小值,从而达到实验落舱的初始释放姿态及下落姿态都能保持最优。

[0042] 本领域的技术人员容易理解,以上所述仅为本发明的较佳实施例而已,并不用以限制本发明,凡在本发明的精神和原则之内所作的任何修改、等同替换和改进等,均应包含在本发明的保护范围之内。

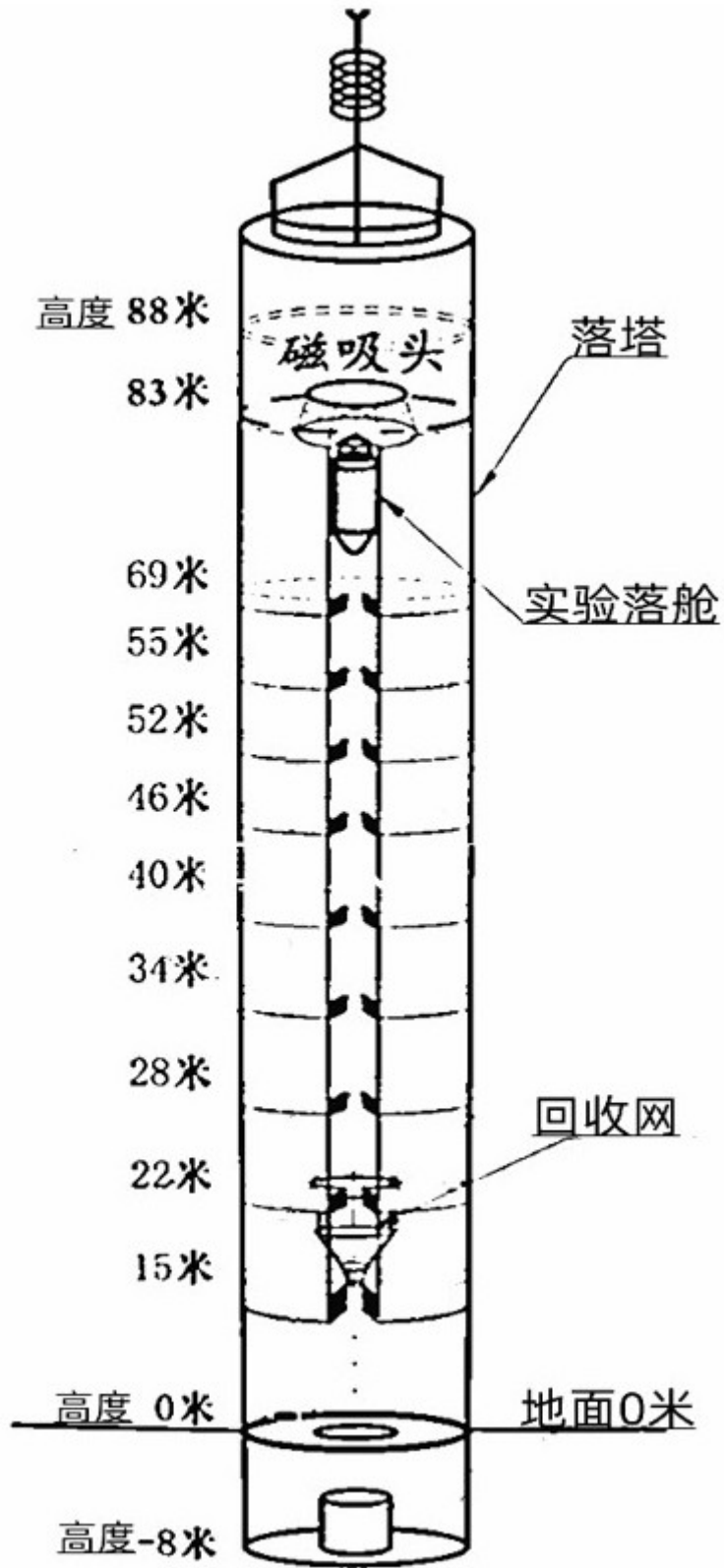


图 1

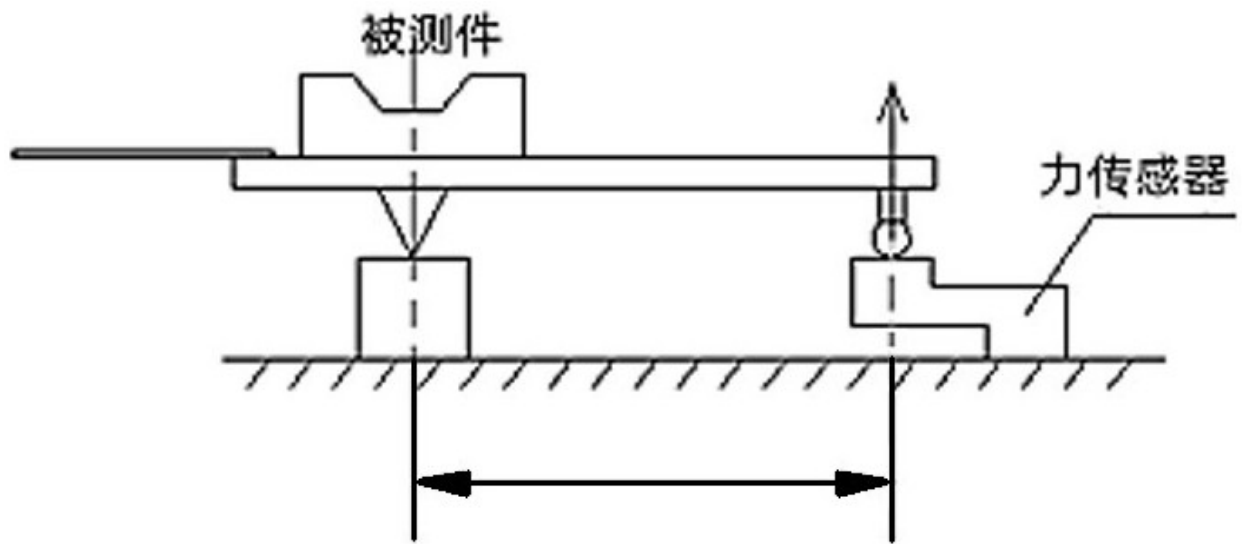


图 2

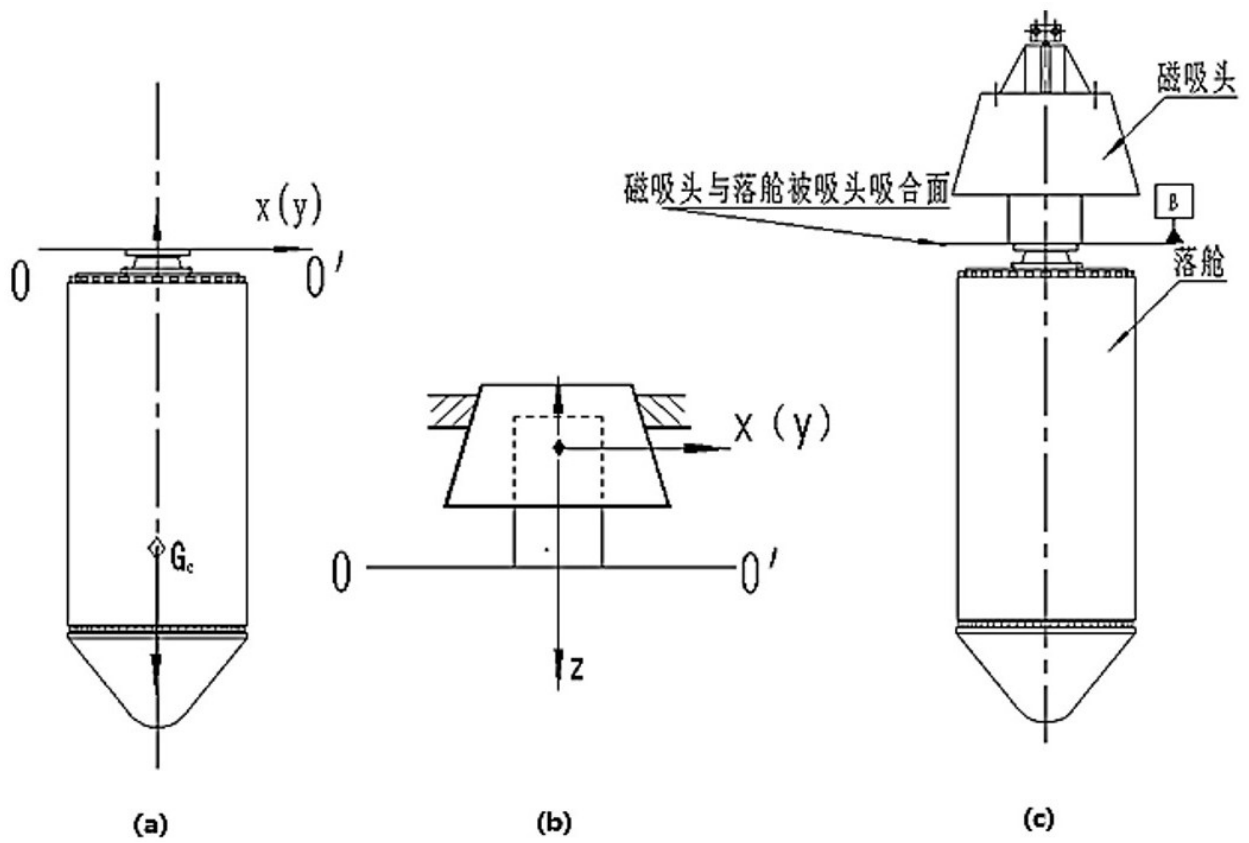


图 3

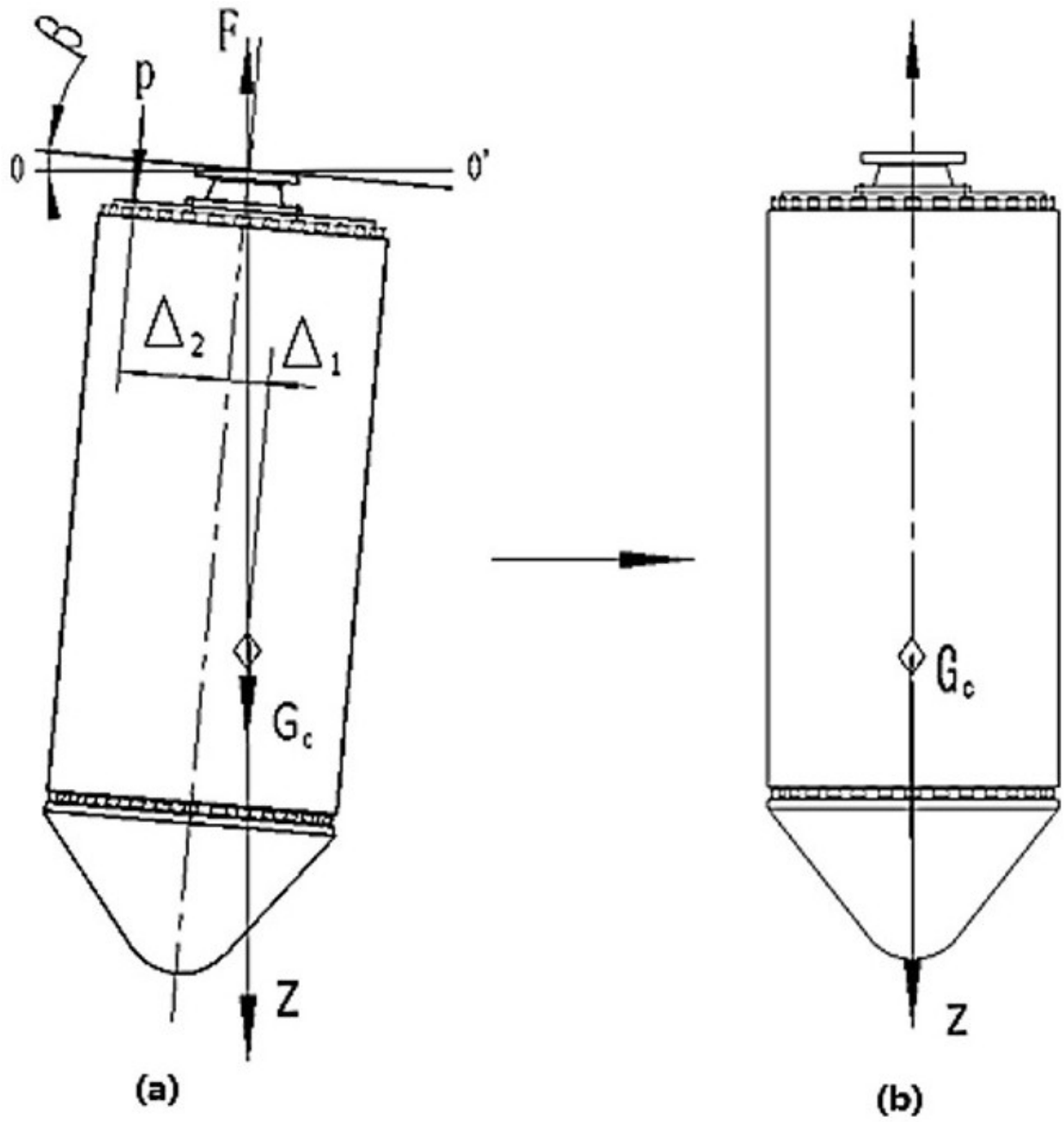


图 4

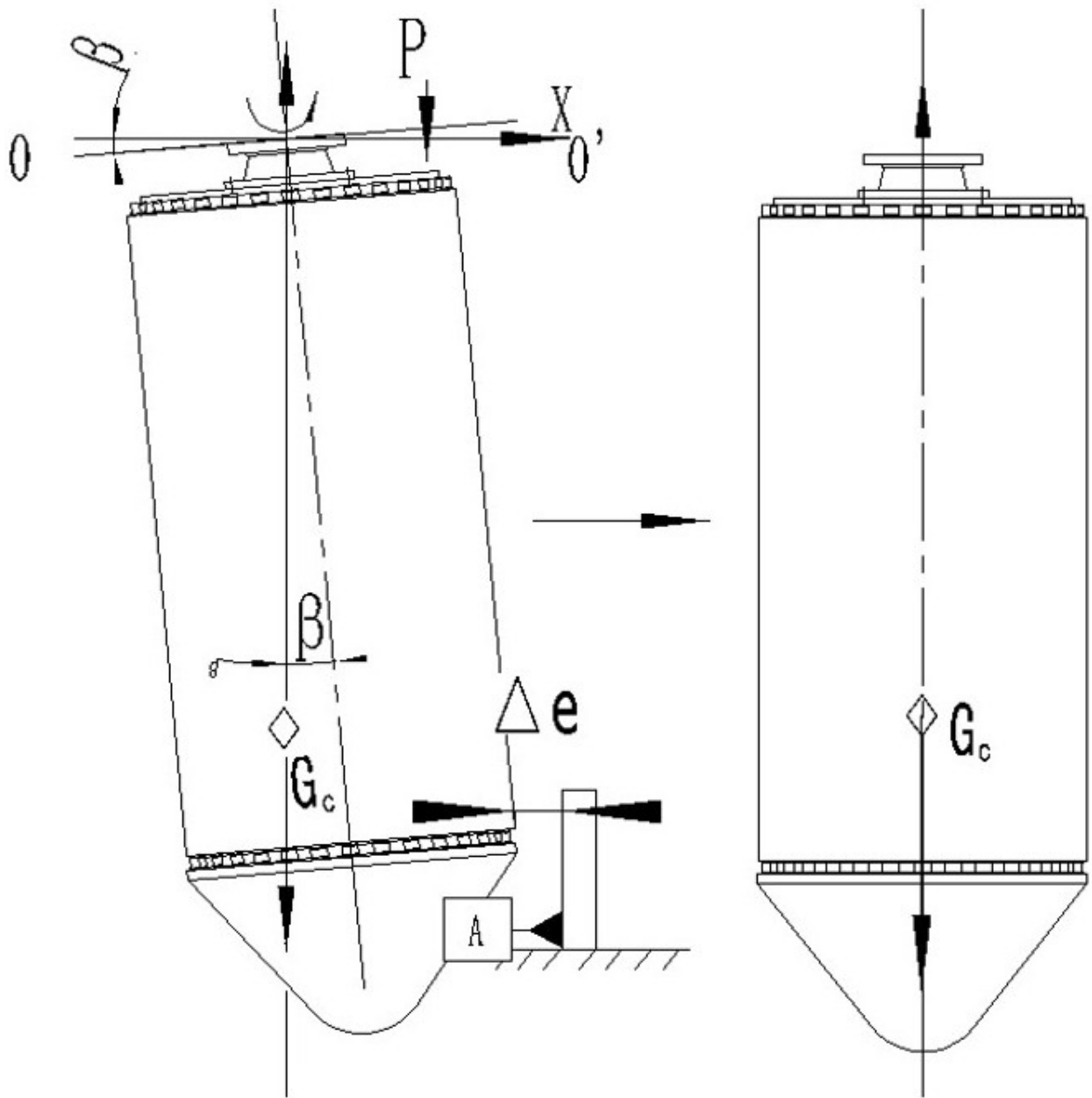


图 5a

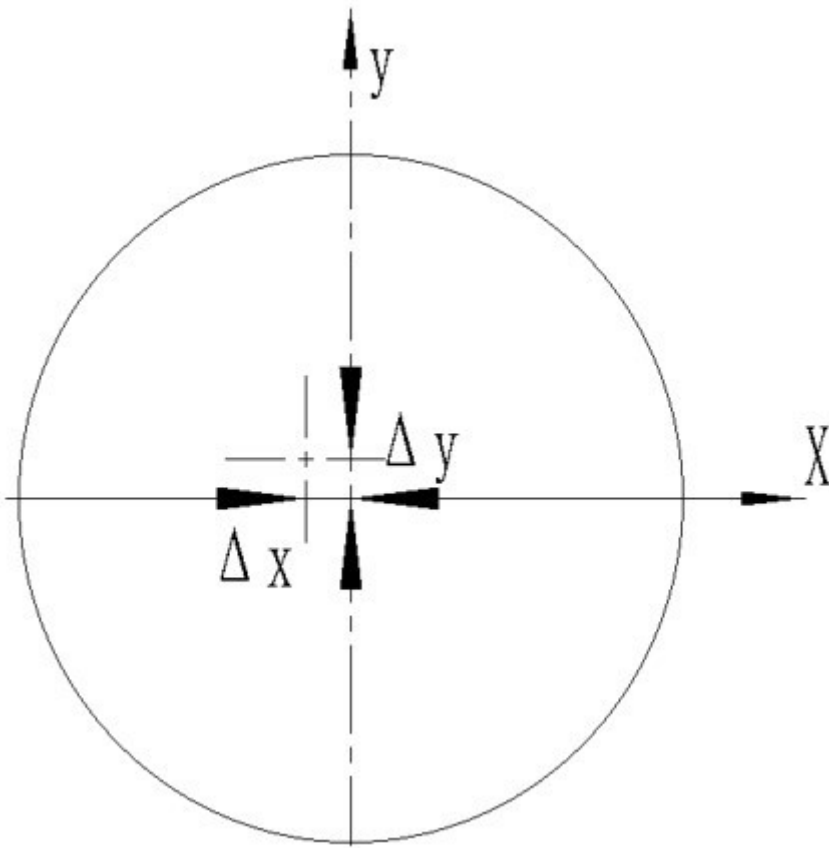


图 5b

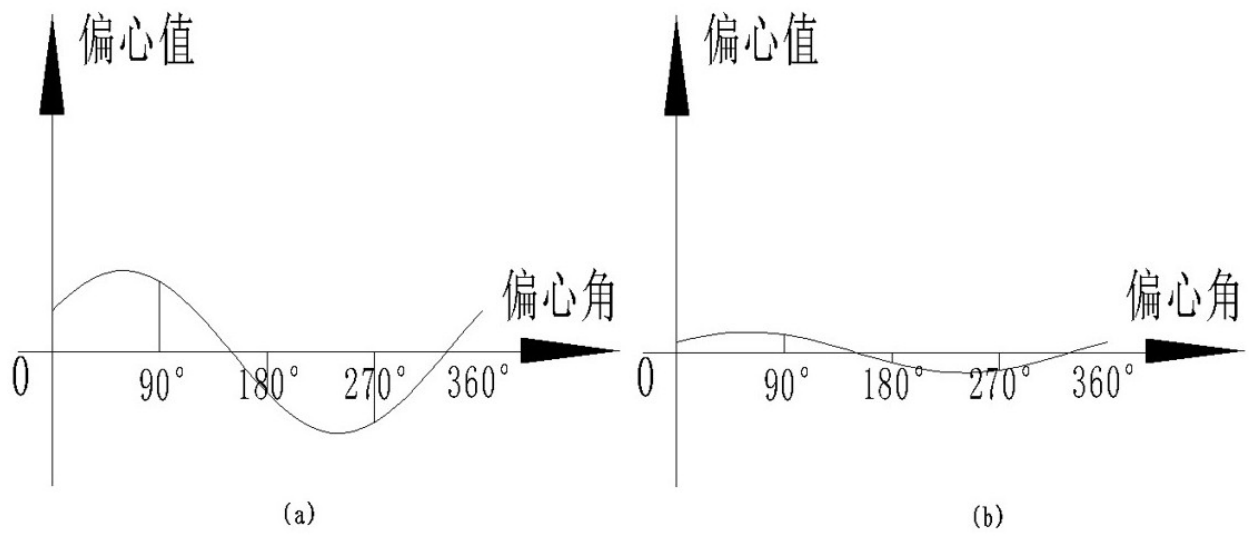


图 6

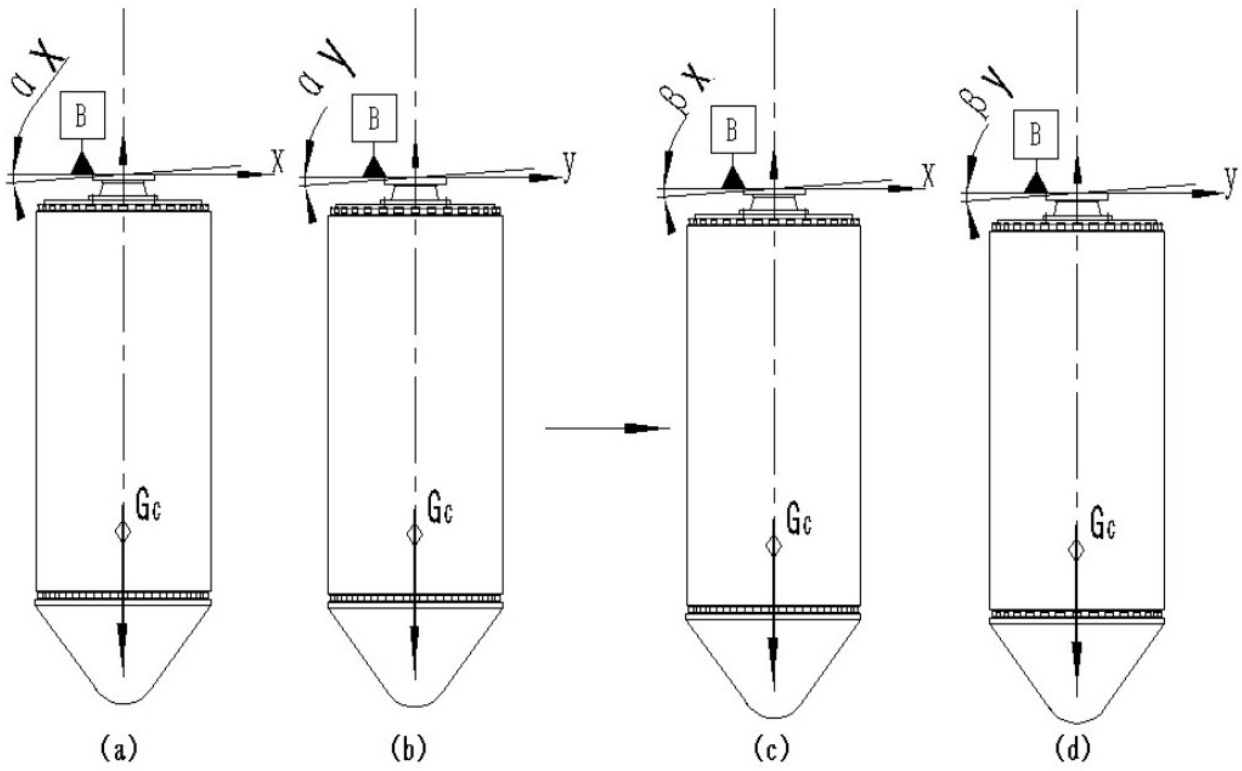


图 7

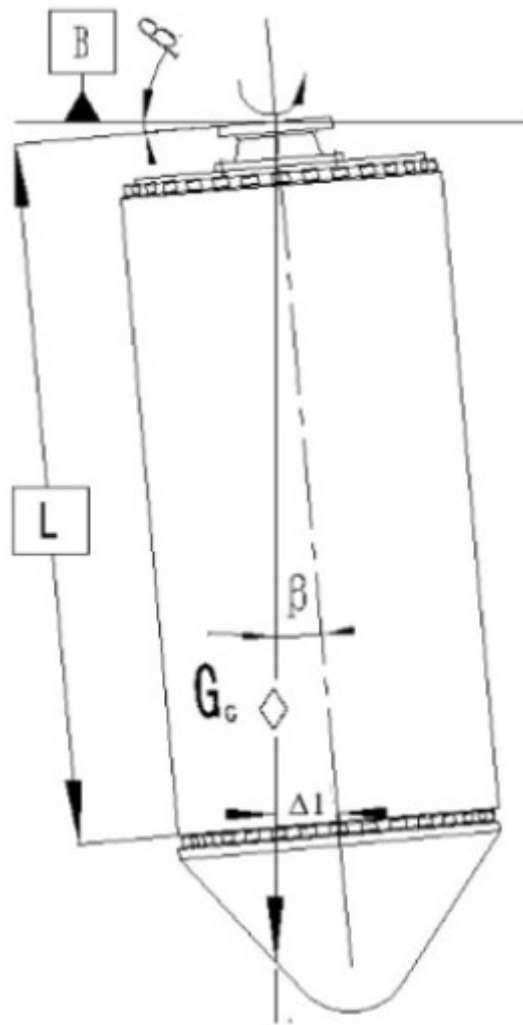


图 8

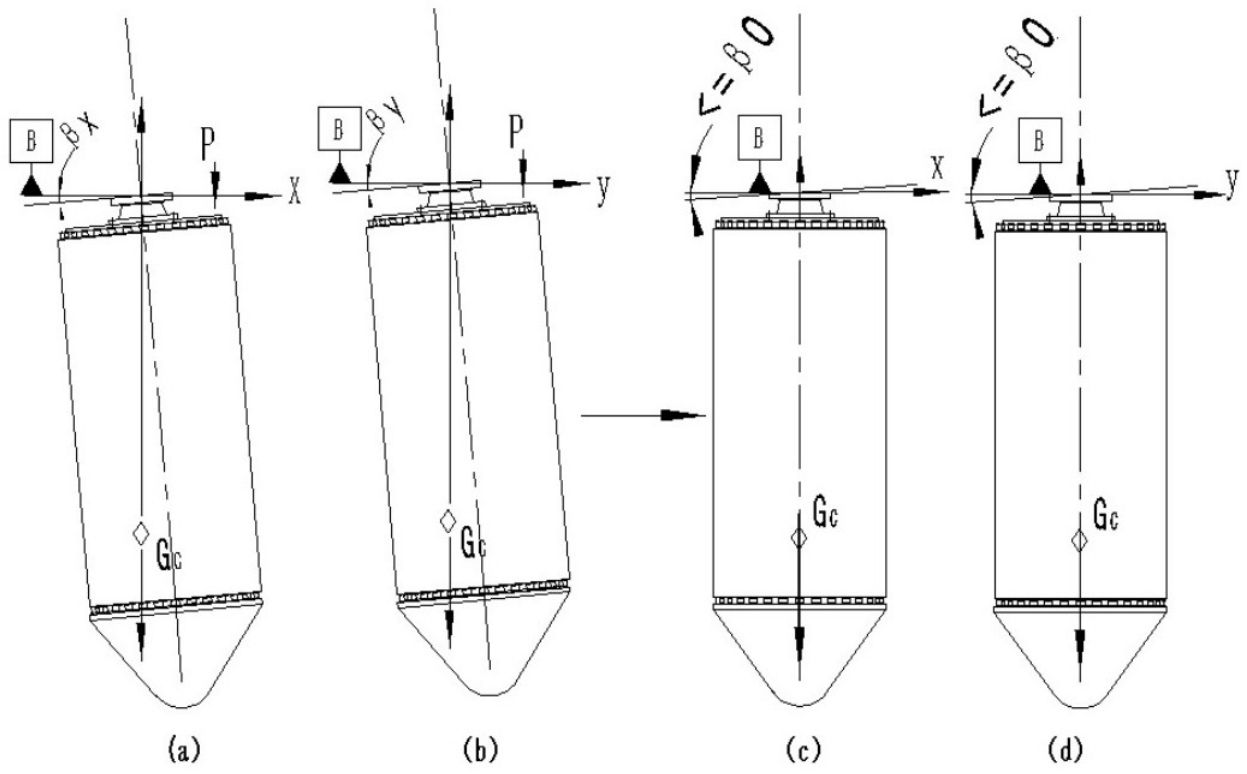


图 9

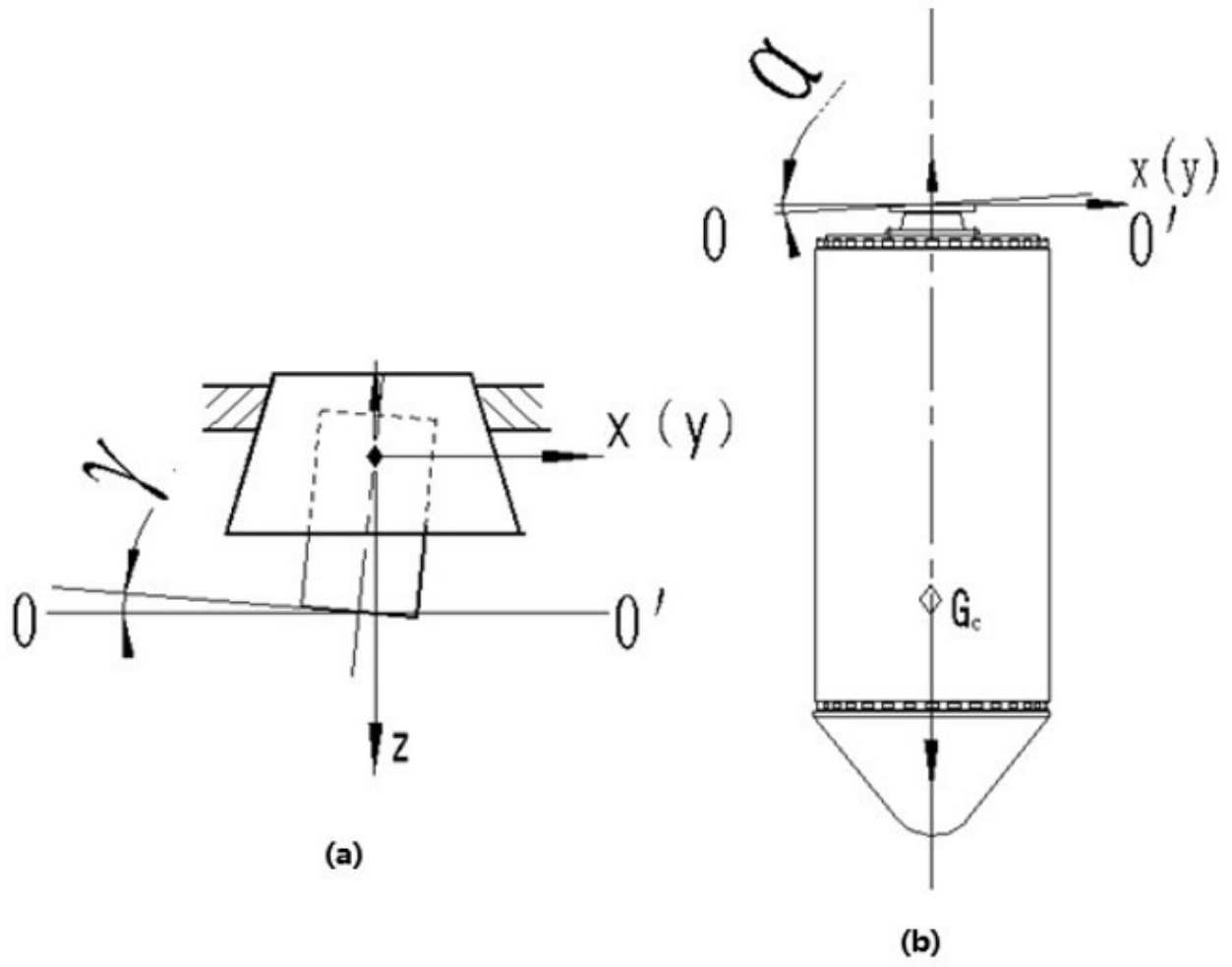


图 10