



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104260902 A

(43) 申请公布日 2015. 01. 07

(21) 申请号 201410461370. 5

(22) 申请日 2014. 09. 11

(71) 申请人 上海卫星工程研究所

地址 200240 上海市闵行区华宁路 251 号

(72) 发明人 钟鸣 申军烽 周徐斌 刘兴天

周静 黄俊杰

(74) 专利代理机构 上海汉声知识产权代理有限公司

公司 31236

代理人 郭国中 刘翠

(51) Int. Cl.

B64G 1/38 (2006. 01)

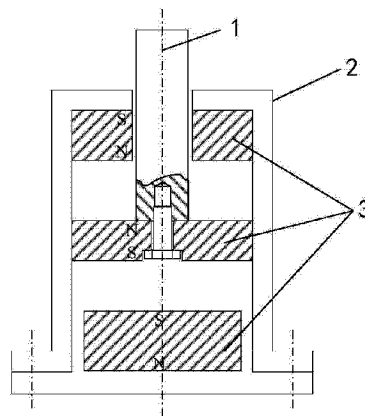
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法

(57) 摘要

本发明提供了一种卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法, 针对被隔离载荷的性能指标要求, 对串联磁悬浮系统的磁场力进行了分析, 得到不同永磁体直径和不同气隙宽度对系统刚度的影响, 形成一种三永磁体串联布置的磁悬浮非线性隔振器, 该磁悬浮非线性隔振器设有仅沿轴向运动的输出杆, 外部壳体封装。由磁悬浮非线性隔振器形成的隔振系统安装在卫星平台和卫星敏感载荷之间。本发明拥有非接触, 非线性, 变刚度, 小振幅低刚度, 大振幅高刚度等优点, 在能承载被隔振对象的重量、保证工艺性的同时, 有效隔离振动的传递, 达到宽频隔振的目的。



1. 一种磁悬浮非线性隔振器,其特征在于,包括三个永磁体,所述三个永磁体同轴串联布置,其中,位于两端的永磁体固定,位于中间的永磁体仅能够沿轴向自由运动。

2. 根据权利要求1所述的磁悬浮非线性隔振器,其特征在于,所述位于中间的永磁体上设有沿轴向的输出杆。

3. 根据权利要求2所述的磁悬浮非线性隔振器,其特征在于,还包括外部壳体,所述三个永磁体封装在外部壳体内部,所述输出杆由外部壳体伸出。

4. 根据权利要求1至3中任一项所述的磁悬浮非线性隔振器,其特征在于,所述三个永磁体采用圆柱形永磁体,且位于两端的永磁体形状大小完全相同。

5. 一种权利要求1至4中任一项所述的磁悬浮非线性隔振器的设计方法,其特征在于,包括如下步骤:

步骤1,将两个永磁体同极相对放置,分析两个永磁体的磁场力;

步骤2,将第三个永磁体与步骤1中的两个永磁体互相同极相对串联组合形成串联磁悬浮系统,分析串联磁悬浮系统的磁场力;

步骤3,将串联磁悬浮系统中的位于两端的永磁体固定,使位于中间的永磁体沿轴线方向自由运动,分析中间永磁体受到的磁场力;

步骤4,根据串联磁悬浮系统的磁力大小,分析该串联磁悬浮系统的刚度;

步骤5,分析三个永磁体直径大小对串联磁悬浮系统刚度的影响;

步骤6,分析三个永磁体之间的气隙宽度对串联磁悬浮系统刚度的影响;

步骤7,根据被隔振载荷的质量属性和隔振频段,得到串联磁悬浮系统的最优刚度,确定三个永磁体最佳直径和气隙宽度;

步骤8,根据串联磁悬浮系统的最佳刚度,分析隔振效率,形成磁悬浮非线性隔振器。

6. 根据权利要求5所述的磁悬浮非线性隔振器的设计方法,其特征在于,还包括如下步骤:

步骤9,对磁悬浮非线性隔振器进行试验验证。

7. 根据权利要求5或6所述的磁悬浮非线性隔振器的设计方法,其特征在于,所述三个永磁体同轴设置,且所述位于中间的永磁体仅能够沿轴向运动。

8. 一种卫星敏感载荷系统,其特征在于,包括卫星平台、卫星敏感载荷以及安装于卫星平台和卫星敏感载荷之间的隔振系统,所述隔振系统包括若干个权利要求1至3中任一项所述的磁悬浮非线性隔振器。

9. 根据权利要求8所述的卫星敏感载荷系统,其特征在于,所述卫星敏感载荷与磁悬浮非线性隔振器之间通过输出杆连接,所述卫星平台与磁悬浮非线性隔振器固接。

10. 根据权利要求9所述的卫星敏感载荷系统,其特征在于,所述隔振系统为如下任一种结构:

所述磁悬浮非线性隔振器为一个,所述输出杆与外部壳体之间通过直线轴承连接,用于保证磁悬浮非线性隔振器仅沿轴向运动,形成单自由度隔振系统;

所述磁悬浮非线性隔振器为多个,多个磁悬浮非线性隔振器并联连接,组成多自由度隔振系统。

卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法

技术领域

[0001] 本发明涉及卫星载荷的隔振技术领域,具体涉及一种卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法。

背景技术

[0002] 随着航天技术的发展,成像类载荷以及高分辨率光学载荷的性能和精度的不断提高,卫星搭载的高精度高稳定度载荷对卫星平台的稳定性的要求越来越高,微振动对其影响已经不能忽略,必须采取隔振的措施保证卫星载荷的正常工作。

[0003] 航天器主要的振动大体分为两类:一类是频率范围为 30 ~ 250Hz 以上,特点是激励的幅值较小,称为高频小振幅振动;第二类振动频率一般低于 30Hz,特点是激励的幅值较大,称为低频大振幅振动。为了有效隔离高频振动,希望隔振元件具有低刚度小阻尼特性;另一方面,为了抑制隔振系统共振频率附近较大振幅的振动,同时为了限制那些准静态载荷作用下引起的位移,并且将其诱发的较大幅度自由振动尽快衰减,又希望隔振元件具有高刚度大阻尼特性。这对隔振元件提出了“低频域具有高刚度大阻尼、高频域具有低刚度小阻尼”这两个基本的而又相互矛盾的要求。

[0004] 传统单纯的弹簧阻尼隔振设计显然不能满足系统对低频大刚度与高频小刚度的要求,而磁力隔振方法有着非接触,变刚度,非线性,小振幅时低刚度,大振幅时高刚度等优点。因此,要对卫星平台向敏感载荷的振动传递进行隔离,设计一种既考虑航天适用性又考虑节能性的隔振系统,是解决问题的主要途径之一。

[0005] 目前没有发现同本发明类似技术的说明或报道,也尚未收集到国内外类似的资料。

发明内容

[0006] 本发明针对现有技术中存在的上述不足,提供了一种卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法。

[0007] 本发明是通过以下技术方案实现的。

[0008] 根据本发明的一个方面,提供了一种磁悬浮非线性隔振器,包括三个永磁体,所述三个永磁体同轴串联布置,其中,位于两端的永磁体固定,位于中间的永磁体仅能够沿轴向自由运动。

[0009] 优选地,所述位于中间的永磁体上设有沿轴向的输出杆。

[0010] 优选地,还包括外部壳体,所述三个永磁体封装在外部壳体内部,所述输出杆由外部壳体伸出。

[0011] 优选地,所述三个永磁体采用圆柱形永磁体,且位于两端的永磁体形状大小完全相同。

[0012] 根据本发明的第二个方面,提供了一种磁悬浮非线性隔振器的设计方法,包括如下步骤:

- [0013] 步骤 1,将两个永磁体同极相对放置,分析两个永磁体的磁场力;
- [0014] 步骤 2,将第三个永磁体与步骤 1 中的两个永磁体互相同极相对串联组合形成串联磁悬浮系统,分析串联磁悬浮系统的磁场力;
- [0015] 步骤 3,将串联磁悬浮系统中的位于两端的永磁体固定,使位于中间的永磁体沿轴线方向自由运动,分析中间永磁体受到的磁场力;
- [0016] 步骤 4,根据串联磁悬浮系统的磁力大小,分析该串联磁悬浮系统的刚度;
- [0017] 步骤 5,分析三个永磁体直径大小对串联磁悬浮系统刚度的影响;
- [0018] 步骤 6,分析三个永磁体之间的气隙宽度对串联磁悬浮系统刚度的影响;
- [0019] 步骤 7,根据被隔振载荷的质量属性和隔振频段,得到串联磁悬浮系统的最优刚度,确定三个永磁体最佳直径和气隙宽度;
- [0020] 步骤 8,根据串联磁悬浮系统的最佳刚度,分析隔振效率,形成磁悬浮非线性隔振器。
- [0021] 优选地,还包括如下步骤:
- [0022] 步骤 9,对磁悬浮非线性隔振器进行试验验证。
- [0023] 优选地,所述三个永磁体同轴设置。
- [0024] 优选地,所述位于中间的永磁体仅能够沿轴向运动。
- [0025] 根据本发明的第三个方面,提供了一种卫星敏感载荷系统,包括卫星平台、卫星敏感载荷以及安装于卫星平台和卫星敏感载荷之间的隔振系统,所述隔振系统包括若干个上述磁悬浮非线性隔振器。
- [0026] 优选地,所述卫星敏感载荷与磁悬浮非线性隔振器之间通过输出杆连接,所述卫星平台与磁悬浮非线性隔振器固接。
- [0027] 优选地,所述隔振系统为如下任一种结构:
- [0028] 所述磁悬浮非线性隔振器为一个,所述输出杆与外部壳体之间通过直线轴承连接,用于保证磁悬浮非线性隔振器仅沿轴向运动,形成单自由度隔振系统;
- [0029] 所述磁悬浮非线性隔振器为多个,多个磁悬浮非线性隔振器并联连接,组成多自由度隔振系统。
- [0030] 本发明相比于现有技术,具有如下的优点和积极效果:
- [0031] 1、采用三个永磁体串联布置形式,且同轴设置,中间的永磁体仅沿轴向运动,保证永磁体角度不发生偏转,磁场稳定,不会引起其他频率的振动;
- [0032] 2、串联磁悬浮系统刚度非线性,低频大振幅振动时提供大回复力,使被隔振对象快速回到平衡位置,高频小振幅振动时提供低刚度,提高了隔振效率;
- [0033] 3、本发明结构简单,工艺性好,易实现;
- [0034] 4、本发明为被动隔振方法,无能耗,节约卫星资源;
- [0035] 5、三永磁体无接触放置,无摩擦,无热量产生,适用于航天环境。
- [0036] 本发明提供的卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法,通过使用三个永久磁铁串联布置,三磁体同轴放置,两端磁体固定,中间磁体仅沿轴向自由运动,在具有承载能力的同时,低频大振幅时提供高刚度,高频小振幅时提供低刚度,具备良好的宽频隔振性能,并且无能耗,无摩擦,无热量产生,适用于航天环境。

附图说明

[0037] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0038] 图 1 为本发明磁悬浮非线性隔振器布置示意图;

[0039] 图 2 为本发明平衡位置附近隔振刚度曲线示意图;

[0040] 图 3 为本发明串联磁悬浮系统刚度随永磁体直径变化曲线示意图;

[0041] 图 4 为本发明串联磁悬浮系统刚度随气息间隙变化曲线示意图;

[0042] 图中:1 为输出杆;2 为外部壳体;3 为永磁体。

具体实施方式

[0043] 下面对本发明的实施例作详细说明:本实施例在以本发明技术方案为前提下进行实施,给出了详细的实施方式和具体的操作过程。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本发明的保护范围。

[0044] 请同时参阅图 1 至图 4。

[0045] 实施例 1

[0046] 如图 1 所示,本实施例提供了一种磁悬浮非线性隔振器,包括三个永磁体,所述三个永磁体同轴串联布置,其中,位于两端的永磁体固定,位于中间的永磁体仅沿轴向自由运动。

[0047] 进一步地,所述位于中间的永磁体上设有沿轴向的输出杆。

[0048] 进一步地,还包括外部壳体,所述三个永磁体封装在外部壳体内部,所述输出杆由外部壳体伸出。

[0049] 进一步地,所述输出杆与外部壳体之间通过直线轴承连接,用于保证输出杆仅沿轴向运动。

[0050] 进一步地,所述三个永磁体采用圆柱形永磁体,且位于两端的永磁体形状大小完全相同。

[0051] 本实施例提供的磁悬浮非线性隔振器,其设计方法,包括如下步骤:

[0052] 步骤 1,将两个永磁体同极相对放置,分析两个永磁体的磁场力;

[0053] 步骤 2,将第三个永磁体与步骤 1 中的两个永磁体互相同极相对串联组合形成串联磁悬浮系统,分析串联磁悬浮系统的磁场力;

[0054] 步骤 3,将串联磁悬浮系统中的位于两端的永磁体固定,使位于中间的永磁体沿轴线方向自由运动,分析中间永磁体受到的磁场力;

[0055] 步骤 4,根据串联磁悬浮系统的磁力大小,分析该串联磁悬浮系统的刚度;

[0056] 步骤 5,分析三个永磁体直径大小对串联磁悬浮系统刚度的影响;

[0057] 步骤 6,分析三个永磁体之间的气隙宽度对串联磁悬浮系统刚度的影响;

[0058] 步骤 7,根据被隔振载荷的质量属性和隔振频段,得到串联磁悬浮系统的最优刚度,确定三个永磁体最佳直径和气隙宽度;

[0059] 步骤 8,根据串联磁悬浮系统的最佳刚度,分析隔振效率,形成磁悬浮非线性隔振器。

[0060] 进一步地,还包括如下步骤:

[0061] 步骤 9,对磁悬浮非线性隔振器进行试验验证。

[0062] 进一步地,所述三个永磁体同轴设置。

[0063] 进一步地,所述位于中间的永磁体仅沿轴向运动。

[0064] 本实施例具体为

[0065] 首先,隔振单元的串联布置形式如图 1 所示。

[0066] 步骤 1,当两磁铁同极相对,接近时斥力增大,远离时斥力减小。他们的相互排斥力为:

$$[0067] \quad F = \frac{\pi B_r H_c d^2}{8\mu_0} \left(1 - \frac{L}{\sqrt{d^2 + L^2}}\right)^2 \quad (1)$$

[0068] 式中: F 为排斥力, N; L 为两磁铁间的距离, m; d 为磁铁半径, m; B_r 为剩磁, T; H_c 为矫顽力, $0e/10^4$; μ_0 为真空磁导率, $4\pi \times 10^{-7} \text{N/A}^2$ 。其中矫顽力表征永磁材料抵抗外部反向磁场或其他退磁效应的能力。

[0069] 步骤 2,将三个永磁体同极相对“串联”起来,构成串联磁悬浮系统,将两端磁体固定,则中间磁体会由于排斥力悬浮起来,在平衡位置时,两端磁体对中间磁体的作用力相等。如果中间磁体偏离平衡位置一个位移量 ΔL ,则其受到上端和下端磁体的作用力变 F_1 、 F_2 分别为:

$$[0070] \quad F_1 = \frac{\pi B_r H_c d^2}{8\mu_0} \left(1 - \frac{L_0 + \Delta L}{\sqrt{d^2 + (L_0 + \Delta L)^2}}\right)^2 \quad (2)$$

$$[0071] \quad F_2 = \frac{\pi B_r H_c d^2}{8\mu_0} \left(1 - \frac{L - \Delta L}{\sqrt{d^2 + (L - \Delta L)^2}}\right)^2 \quad (3)$$

[0072] 式中: L_0 为中间磁体在平衡位置时距两端磁体的气隙。

[0073] 步骤 3,中间磁体受到的磁力 F 为:

$$[0074] \quad F = F_2 - F_1 = \frac{\pi B_r H_c d^2}{8\mu_0} \left[\left(1 - \frac{L_0 - \Delta L}{\sqrt{d^2 + (L_0 - \Delta L)^2}}\right)^2 - \left(1 - \frac{L_0 + \Delta L}{\sqrt{d^2 + (L_0 + \Delta L)^2}}\right)^2 \right] \quad (4)$$

[0075] 步骤 4,此时系统的刚度 k 为:

[0076]

$$k = \frac{dF}{dL} = \frac{\pi B_r H_c d^4}{4\mu_0} \cdot \left\{ \left(1 - \frac{L_0 - \Delta L}{\sqrt{d^2 + (L_0 - \Delta L)^2}}\right) \cdot \frac{1}{[d^2 + (L_0 - \Delta L)^2]^{\frac{3}{2}}} + \left(1 - \frac{L_0 + \Delta L}{\sqrt{d^2 + (L_0 + \Delta L)^2}}\right) \cdot \frac{1}{[d^2 + (L_0 + \Delta L)^2]^{\frac{3}{2}}} \right\} \quad (5)$$

[0077] 步骤 5,永磁体采用 $H_c = 100000e/10^4$, $B_r = 1.25\text{T}$ 的钕铁硼 ($\text{Nd}_{15}\text{Fe}_{77}\text{B}_8$),当永磁体直径为 $d = 30\text{mm}$,永磁体之间的气隙为 $L_0 = 30\text{mm}$ 时,得到隔振器在平衡位置附近的刚度曲线如图 2 所示。改变永磁体直径大小,隔振器的刚度发生变化,如图 3 所示。从图中可以看出,永磁体直径增大,系统刚度显著增大。

[0078] 步骤 6,改变永磁体之间的气隙宽度,隔振器的刚度发生变化,如图 4 所示。从图中可以看出,永磁体之间的气隙减小,系统的刚度显著增大。

[0079] 步骤 7,根据被隔振载荷质量 10kg ,隔振效率在 10Hz 以上时可达到 75% 以上的要求,确定永磁体直径 $d = 30\text{mm}$,平衡位置气隙宽度 $L = 30\text{mm}$ 。

[0080] 步骤 8, 对确定的隔振系统进行隔振性能分析, 形成磁悬浮非线性隔振器, 结果如表 1 所示。

[0081] 表 1 隔振前后各频率的振动响应及隔振效率

[0082]

频率 /Hz	隔振前 /mm	隔振后 /mm	隔振效率
10	0.269	0.063	76.58%
20	0.536	0.048	91.04%
35	0.422	0.020	95.26%
50	0.772	0.026	96.63%
75	0.515	0.012	97.67%
100	0.160	0.003	98.13%
150	0.640	0.007	98.91%

[0083] 从分析结果可以看出, 加入本实施例提供的磁悬浮非线性隔振器后, 各频率下, 被隔振对象的振动响应均有所减小, 证明隔振器的有效性。因此, 本实施例在具有承载能力的同时, 有效隔离振动的传递, 达到了宽频隔振的目的。

[0084] 实施例 2

[0085] 本实施例提供了一种卫星敏感载荷系统, 包括卫星平台、卫星敏感载荷以及安装于卫星平台和卫星敏感载荷之间的隔振系统, 所述隔振系统包括若干个上述磁悬浮非线性隔振器。

[0086] 进一步地, 所述卫星敏感载荷与磁悬浮非线性隔振器之间通过输出杆连接, 所述卫星平台与磁悬浮非线性隔振器固接。

[0087] 进一步地, 所述磁悬浮非线性隔振器为一个, 所述输出杆与外部壳体之间通过直线轴承连接, 用于保证磁悬浮非线性隔振器仅沿轴向运动, 形成单自由度隔振系统。

[0088] 进一步地, 所述磁悬浮非线性隔振器为多个, 多个磁悬浮非线性隔振器并联连接, 组成多自由度隔振系统。

[0089] 在上述两个实施例中:

[0090] 磁悬浮非线性隔振器包括负责隔振的 3 个圆柱形永磁体同极相对串联布置。

[0091] 磁悬浮非线性隔振器的 3 个永磁体同轴。

[0092] 磁悬浮非线性隔振器两端永磁体固定, 中间磁体沿轴向自由运动。

[0093] 磁悬浮非线性隔振器两端永磁体形状大小完全相同。

[0094] 磁悬浮非线性隔振器外封装将永磁体封装在内部, 并起到磁屏蔽的作用。

[0095] 由磁悬浮非线性隔振器形成的隔振系统安装在卫星平台和卫星敏感载荷之间。

[0096] 卫星敏感载荷与磁悬浮非线性隔振器通过输出杆连接, 卫星平台与磁悬浮非线性隔振器固接。

[0097] 磁悬浮非线性隔振器的输出杆与外壳之间通过直线轴承连接,保证磁悬浮非线性隔振器仅沿轴向运动,形成单自由度隔振系统。

[0098] 多个磁悬浮非线性隔振器并联使用,组成多自由度隔振系统。

[0099] 上述两个实施例提供了一种卫星敏感载荷系统及其磁悬浮非线性隔振器及设计方法,针对被隔离载荷的性能指标要求,对串联磁悬浮系统的磁场力进行了分析,得到不同永磁体直径和不同气隙宽度对系统刚度的影响,形成一种三永磁体串联布置的磁悬浮非线性隔振器,该磁悬浮非线性隔振器设有仅沿轴向运动的输出杆,外部壳体封装。由磁悬浮非线性隔振器形成的隔振系统安装在卫星平台和卫星敏感载荷之间。拥有非接触,非线性,变刚度,小振幅低刚度,大振幅高刚度等优点,在能承载被隔振对象的重量、保证工艺性的同时,有效隔离振动的传递,达到宽频隔振的目的。

[0100] 以上对本发明的具体实施例进行了描述。需要理解的是,本发明并不局限于上述特定实施方式,本领域技术人员可以在权利要求的范围内做出各种变形或修改,这并不影响本发明的实质内容。

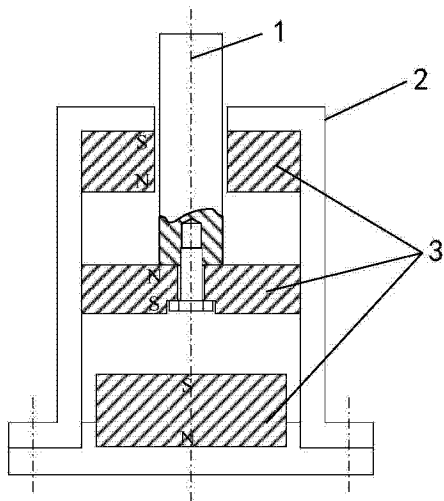


图 1

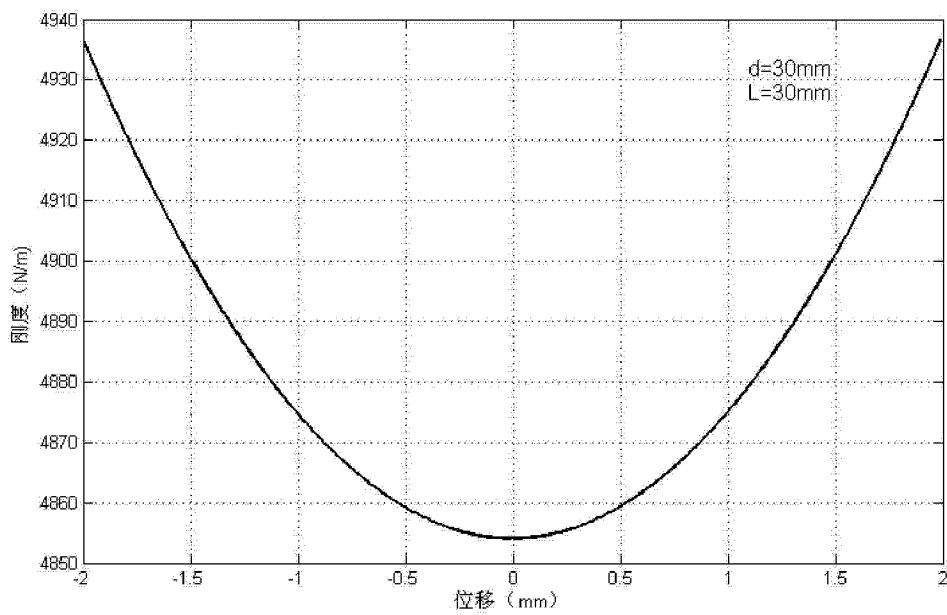


图 2

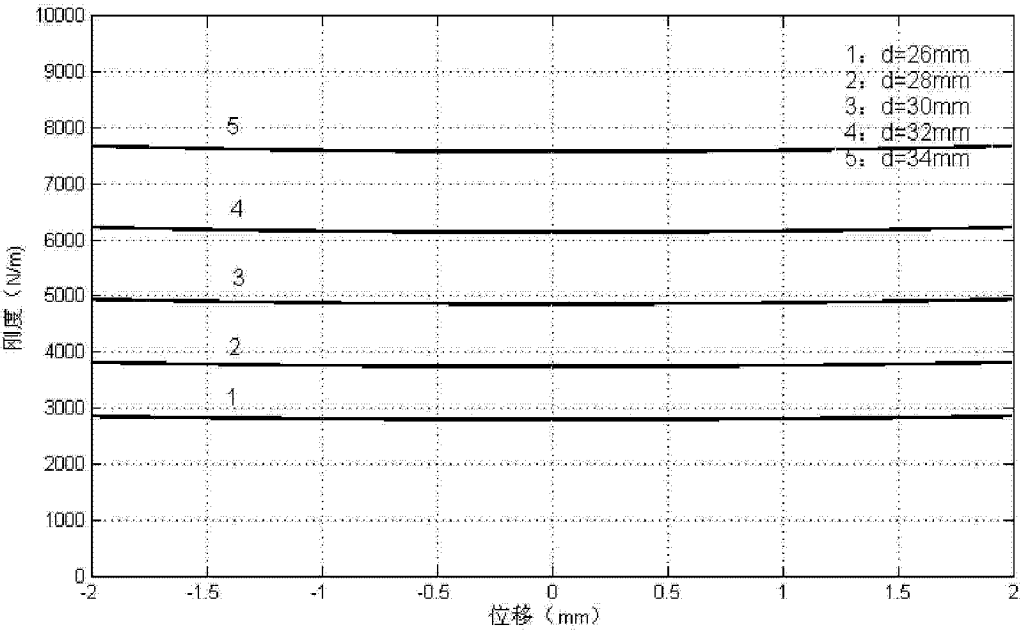


图 3

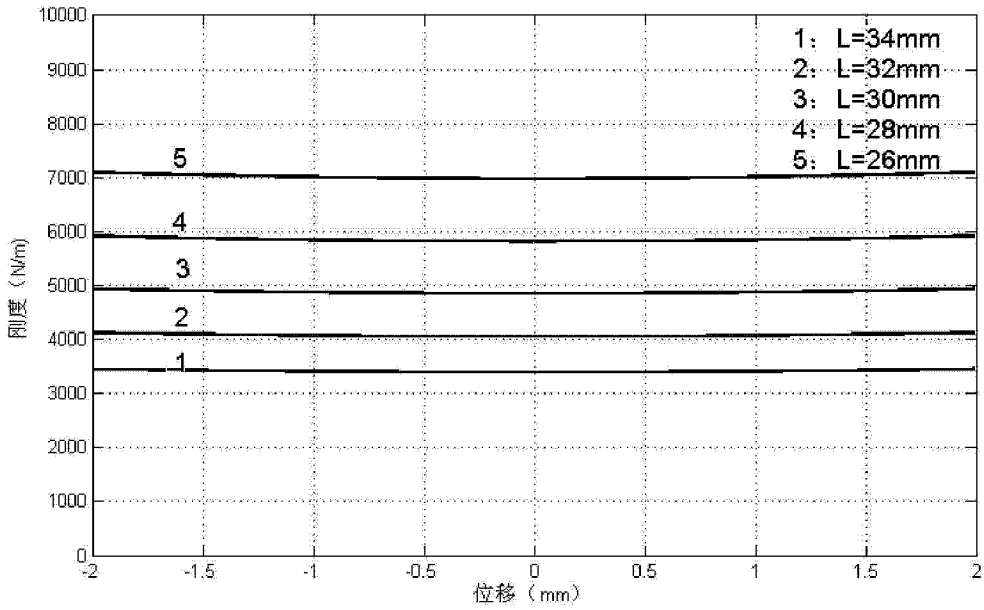


图 4