



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119885311 A

(43) 申请公布日 2025. 04. 25

(21) 申请号 202510387520.0

(22) 申请日 2025.03.31

(71) 申请人 杭州邦维流体技术有限公司

地址 311000 浙江省杭州市钱塘新区白杨
街道2号大街501号6-915

(72) 发明人 黄敦回 林荣华 章锦素

(74) 专利代理机构 杭州汇和信专利代理有限公司
33475

专利代理师 李珍珍

(51) Int. Cl.

G06F 30/10 (2020.01)

E21C 50/00 (2006.01)

G06F 30/28 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

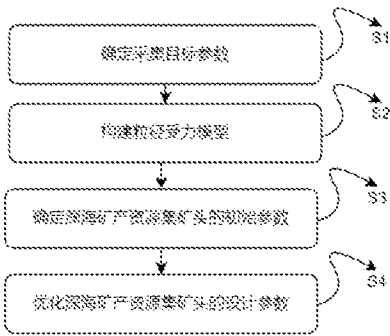
权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称

基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法

(57) 摘要

本方案提供了一种基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,包括以下步骤:确定采集目标参数;构建粒径受力模型;确定深海矿产资源集矿头的初始参数;优化深海矿产资源集矿头的设计参数,该设计优化方法根据实际采矿需求和矿产特性设计深海矿产资源集矿头,提高深海矿产资源集矿头的采集效果。



1.一种基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,包括以下步骤:

S1:确定采集目标参数:

确定目标采集产量、矿石粒径、丰度、颗粒密度以及沉积物粘度;

S2:构建粒径受力模型:

基于矿石粒径、颗粒密度以及流体密度确定临界提升力,基于流体密度、迎流面积、升力系数和射流速度确定升力,基于临界提升力和升力构建粒径受力模型:

S3:确定深海矿产资源集矿头的初始参数:

基于粒径受力模型确定射流速度,基于目标采集产量、射流速度、丰度确定深海矿产资源集矿头的宽度和射流流量,基于射流流量和射流速度确定深海矿产资源集矿头的射流口宽度,基于沉积物粘度、矿石粒径和临界提升力确定深海矿产资源集矿头的离地高度,基于流体密度、流场作用长度以及曲面板两侧压力差确定深海矿产资源集矿头的康达表面板的曲率半径;

S4:优化深海矿产资源集矿头的设计参数:

基于初始参数开展清水流场模拟得到模拟结果,基于模拟结果调整深海矿产资源集矿头的初始参数以确定设计参数。

2.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,射流口宽度指的是射流口的宽度,射流速度指的是射流口内射流的速度,离地高度指的是康达表面板的最低位置距离地面的高度,康达表面板曲率半径为康达表面板的曲率半径,目标采集常量指的是需要采集的深海矿产资源的产量,矿石粒径包括需要采集的深海矿产资源的矿石的颗粒直径,丰度指的是需要采集的深海矿产资源的分布密度。

3.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,临界提升力的计算公式如下:

$$F_L = \frac{\pi d_p^3}{6} (\rho_p - \rho_f) \cdot g;$$

其中 F_L 为临界提升力, d_p 为颗粒直径, ρ_p 为颗粒密度, ρ_f 为流体密度,g为重力参数。

4.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,升力的计算公式如下:

$$F_{\text{升}} = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho_f U^2 A_p \cdot \alpha;$$

$$A_p = \pi r^2;$$

其中 $F_{\text{升}}$ 为升力,U为射流速度, C_L 为经验值得到的升力系数, A_p 为迎流面积,r为颗粒半径, α 为压力修正系数因子, ρ_f 为流体密度。

5.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,确定深海矿产资源集矿头的宽度的公式如下:

$$W = \frac{Q}{\rho_f \cdot U \cdot C_d};$$

其中 W 为深海矿产资源集矿头的宽度, Q 为目标采集产量, U 为射流速度, C_v 为矿石颗粒的体积浓度, ρ_s 为丰度。

6.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,确定深海矿产资源集矿头的射流流量的公式如下:

$$Q = \frac{Q}{\rho_s \cdot C_v};$$

其中 Q 为射流流量, Q 为目标采集产量, ρ_s 为丰度, C_v 为矿石颗粒的体积浓度。

7.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,确定深海矿产资源集矿头的射流口宽度的公式如下:

$$Q = U \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2;$$

其中 U 为射流速度, Q 为射流流量, D 为射流口宽度。

8.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,基于沉积物粘度计算颗粒剥离剪切力,基于颗粒剥离剪切力和离地高度的关系确定深海矿产资源集矿头的离地高度。

9.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,确定深海矿产资源集矿头的康达表面板的曲率半径的公式如下:

$$R = \frac{U^2 \cdot \rho_f}{\Delta P} \cdot \left(1 + \frac{L}{R}\right);$$

其中 R 为康达表面板的曲率半径, ΔP 为康达表面板两侧的压力差, L 为流场作用长度, ρ_f 为流体密度, U 是射流速度。

10.根据权利要求1所述的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,其特征在于,在“基于模拟结果调整深海矿产资源集矿头的初始参数以确定设计参数”步骤中,比对曲面板两侧的压力差以确保曲面板的曲率半径的设计合理性,且确保升力大于临界提升力,其中当升力不足时加大曲率半径或提高射流速度或降低离地高度或减小射流口宽度后得到优化后的设计参数。

基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法

技术领域

[0001] 本申请涉及集矿头设计领域,特别是涉及基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法。

背景技术

[0002] 在深海采矿技术领域,随着对深海矿产资源需求的不断增长,如何高效、稳定且环保地采集这些资源成为了亟待解决的问题。深海矿产资源作为一种重要的多金属矿产资源,广泛分布于海底,其采集技术一直是海洋工程领域的研究热点。传统的深海矿产资源采集方法往往存在效率低、能耗大、对海底环境影响大等问题,因此,开发新型高效的采集方法显得尤为重要。

[0003] 基于康达效应的深海矿产资源采集方法正是在这样的背景下应运而生。康达效应,也称为壁面附着效应或边界层吸附效应,是一种流体动力学现象,当流体绕过曲面物体时,如果流体速度足够大,它会在曲面的影响下沿着曲面流动,甚至在曲率变化时仍能保持附着状态。

[0004] 传统深海采矿设备在采集过程中,往往难以精确控制流场分布,导致矿产资源的收集效率不高,且易对海底环境造成破坏。而基于康达效应的深海矿产资源采集方法,通过精确设计和优化集矿装置的参数,如喷射口宽度 D 、康达表面曲率半径 R 、离地高度 H 和喷射速度 U 等,可以实现对流场的精确控制,从而提高矿产资源的收集效率,同时,该方法还能够减少设备能耗,降低对海底环境的干扰,具有较高的环保性和经济性。

[0005] 然而,在实际应用中,基于康达效应的深海矿产资源采集方法仍面临诸多挑战。如何准确预测和模拟流场分布及颗粒运动,如何优化装置设计以实现最佳采集效果,如何确保装置在复杂海洋环境下的稳定性和可靠性等,都是需要进一步研究和解决的问题。

[0006] 因此,对该方法进行深入研究和优化,对于推动深海采矿技术的发展具有重要意义。

发明内容

[0007] 本申请实施例提供了一种基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,基于目标采集产量、矿物特性以及流场特点设计深海矿产资源集矿头,提高深海矿产资源集矿头的采集效果。

[0008] 第一方面,本申请实施例提供了一种基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,包括以下步骤:

S1:确定采集目标参数:

确定目标采集产量、矿石粒径、丰度、颗粒密度以及沉积物粘度;

S2:构建粒径受力模型:

基于矿石粒径、颗粒密度以及流体密度确定临界提升力,基于流体密度、迎流面积、升力系数和射流速度确定升力,基于临界提升力和升力构建粒径受力模型;

S3:确定深海矿产资源集矿头的初始参数:

基于粒径受力模型确定射流速度,基于目标采集产量、射流速度、丰度确定深海矿产资源集矿头的宽度和射流流量,基于射流流量和射流速度确定深海矿产资源集矿头的射流口宽度,基于沉积物粘度、矿石粒径和临界提升力确定深海矿产资源集矿头的离地高度,基于流体密度、流场作用长度以及曲面板两侧压力差确定深海矿产资源集矿头的康达面板的曲率半径;

S4:优化深海矿产资源集矿头的设计参数:

基于初始参数开展清水流场模拟得到模拟结果,基于模拟结果调整深海矿产资源集矿头的初始参数以确定设计参数。

[0009] 本发明的主要贡献和创新点如下:

本申请实施例通过建立粒径受力模型和流场模拟优化,实现射流速度、曲率半径等关键参数的量化匹配,基于临界提升力公式确保矿石颗粒有效脱离,结合流体力学仿真调整结构参数,使集矿头在复杂海底地形中保持稳定高效,可优化装置设计以实现最佳采集效果。另外,该方法还支持不同矿物特性(如粒径、密度)的灵活适配,为深海多金属结核、富钴结壳等资源的规模化开采提供技术支撑。

[0010] 本申请的一个或多个实施例的细节在以下附图和描述中提出,以使本申请的其他特征、目的和优点更加简明易懂。

附图说明

[0011] 此处所说明的附图用来提供对本申请的进一步理解,构成本申请的一部分,本申请的示意性实施例及其说明用于解释本申请,并不构成对本申请的不当限定。在附图中:

图1是根据本申请实施例的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法的流程图;

图2是根据本申请一种实施例的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的结构示意图;

图3是根据本申请实施例的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的参数示意图;

图4是实验与仿真数据对比图。

[0012] 图5是曲面板的不同位置($L_1L_2L_3$)的压力和压力梯度分布图。

具体实施方式

[0013] 这里将详细地对示例性实施例进行说明,其示例表示在附图中。下面的描述涉及附图时,除非另有表示,不同附图中的相同数字表示相同或相似的要素。以下示例性实施例中所描述的实施方式并不代表与本说明书一个或多个实施例相一致的所有实施方式。相反,它们仅是与如所附权利要求书中所详述的、本说明书一个或多个实施例的一些方面相一致的装置和方法的例子。

[0014] 需要说明的是:在其他实施例中并不一定按照本说明书示出和描述的顺序来执行相应方法的步骤。在一些其他实施例中,其方法所包括的步骤可以比本说明书所描述的更多或更少。此外,本说明书中所描述的单个步骤,在其他实施例中可能被分解为多个步骤进行描述;而本说明书中所描述的多个步骤,在其他实施例中也可能被合并为单个步骤进行

描述。

[0015] 实施例一

如图1所示,本方案提供了一种基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,包括以下步骤:

S1:确定采集目标参数:

确定目标采集产量、矿石粒径、丰度、颗粒密度以及沉积物粘度;

S2:构建粒径受力模型:

基于矿石粒径、颗粒密度以及流体密度确定临界提升力,基于流体密度、迎流面积、升力系数和射流速度确定升力,基于临界提升力和升力构建粒径受力模型;

S3:确定深海矿产资源集矿头的初始参数:

基于粒径受力模型确定射流速度,基于目标采集产量、射流速度、丰度确定深海矿产资源集矿头的宽度和射流流量,基于射流流量和射流速度确定深海矿产资源集矿头的射流口宽度,基于沉积物粘度、矿石粒径和临界提升力确定深海矿产资源集矿头的离地高度,基于流体密度、流场作用长度以及曲面板两侧压力差确定深海矿产资源集矿头的康达表面板的曲率半径;

S4:优化深海矿产资源集矿头的设计参数:

基于初始参数开展清水流场模拟得到模拟结果,基于模拟结果调整深海矿产资源集矿头的初始参数以确定设计参数。

[0016] 本方案提供了一种基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,基于康达效应的深海矿产资源集矿头是通过流体附壁效应和低压吸附原理优化收集效率,该基于康达效应的深海矿产资源集矿头的结构设计如图2所示,该基于康达效应的深海矿产资源集矿头包括曲面设置的康达表面板,其中康达表面板离地设置形成集矿腔,且集矿腔的入口位置设置有射流口。具体的,当该基于康达效应的深海矿产资源集矿头用于集矿时,高压泵将海水形成的射流从射流口内以设定的射流速度射入集矿腔,射流沿康达表面板的曲率切向流动,当射流附着曲面流动时,外侧流速加快,根据伯努利原理流体静压降低形成长条状低压区,长条状低压区产生的压力差对矿产资源施加法向吸附力,吸附力使矿产资源脱离海床并随射流诱导的二次流进入集矿腔,同时,轻质沉积物因密度低被主流带离采集区。

[0017] 如图3所示,该基于康达效应的深海矿产资源集矿头的初始参数包括射流速度 U 、射流口宽度 D 、离地高度 H 及康达表面板曲率半径 R ,其中射流口宽度 D 指的是射流口的宽度,射流速度 U 指的是射流口内射流的速度,离地高度 H 指的是康达表面板的最低位置距离地面的高度,康达表面板曲率半径 R 为康达表面板的曲率半径,本方案通过基于目标采集产量、矿物特性以及流场特点设计深海矿产资源集矿头,且在设计方法中引入了对临界位置的颗粒受力分析以实现最佳集矿效果。

[0018] 具体的,在步骤S1中根据实际深海矿产资源集矿的需求确定目标采集产量、矿石粒径、丰度、颗粒丰度以及沉积物粘度在内的采集目标参数,其中目标采集常量 Q 指的是需要采集的深海矿产资源的产量,矿石粒径指的是需要采集的深海矿产资源的矿石的颗粒直径 d_p ,丰度 ρ_s 指的是需要采集的深海矿产资源的分布密度,颗粒密度 ρ_p 指的是采集的深海矿产资源的矿石的颗粒之间的密度。需要说明的是,颗粒直径是通过现场采样获取的粒度分布曲线的平均粒径确定。

[0019] 在步骤S2中:

在“基于矿石粒径、颗粒密度以及流体密度确定临界提升力”步骤中,临界提升力指的是颗粒刚好抵消与集矿腔的壁面之间的作用力的提升力,其中临界提升力的计算公式如下:

$$F_L = \frac{\pi d_p^3}{6} \cdot (\rho_p - \rho_f) \cdot g;$$

其中 F_L 为临界提升力, d_p 为颗粒直径, ρ_p 为颗粒密度, ρ_f 为流体密度, g 为重力参数。需要说明的是,在确定初始参数时流体密度 ρ_f 设定为预设值,后续在进行设计参数的优化时根据实际清水流场的流体情况进行调整。

[0020] 在“基于流体密度、迎流面积、升力系数和射流速度确定升力”步骤中,升力指的是对颗粒的提升力,其中升力的计算公式如下:

$$F_{\text{升}} = C_L \cdot \frac{1}{2} \rho_f U^2 A_p \cdot \alpha;$$

$$A_p = \pi r^2;$$

其中 $F_{\text{升}}$ 为升力, U 为射流速度, C_L 为经验值得到的升力系数, A_p 为迎流面积, α 为压力修正系数因子, ρ_f 为流体密度, r 为颗粒半径。需要说明的是,由于理论模型和实际模型之间存在差异,故本方案通过压力修正系数因子调整升力计算中的压力分布,压力修正系数因子一般为基于历史数据确定的经验值。迎流面积指的是颗粒在流体流动方向上的有效投影面积,通过颗粒半径计算得到。

[0021] 在“基于临界提升力和升力构建粒径受力模型”步骤中,需要确保升力大于临界提升力以使得射流能够带动颗粒的运动,故粒径受力模型为升力不小于临界提升力。

[0022] 在步骤S3中:

在“基于目标采集产量、射流速度、丰度确定深海矿产资源集矿头的宽度和射流流量”步骤中,确定深海矿产资源集矿头的宽度的公式如下:

$$W = \frac{Q}{\rho_p \cdot U \cdot C_v};$$

其中 W 为深海矿产资源集矿头的宽度, Q 为目标采集产量, U 为射流速度, C_v 为矿石颗粒的体积浓度, ρ_p 为丰度。

[0023] 在“基于目标采集产量、射流速度、丰度确定深海矿产资源集矿头的射流流量”的步骤中,确定深海矿产资源集矿头的射流流量的公式如下:

$$Q = \frac{Q}{\rho_p \cdot C_v};$$

其中 Q 为射流流量, Q 为目标采集产量, ρ_p 为丰度, C_v 为矿石颗粒的体积浓度。

[0024] 在一些实施例中,矿石颗粒的体积浓度 C_v 的取值为10%~20%,在计算初始参数时可随机确认矿石颗粒的体积浓度。

[0025] 在“基于射流流量和射流速度确定深海矿产资源集矿头的射流口宽度”的步骤中,

确定深海矿产资源集矿头的射流口宽度的公式如下：

$$Q = U \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2;$$

其中U为射流速度,Q为射流流量,D为射流口宽度。

[0026] 在“基于沉积物粘度、矿石粒径和临界提升力确定深海矿产资源集矿头的离地高度”步骤中,基于沉积物粘度计算颗粒剥离剪切力,基于颗粒剥离剪切力和离地高度的关系确定确定深海矿产资源集矿头的离地高度。

[0027] 具体的,基于沉积物粘度计算颗粒剥离剪切力的公式如下：

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy};$$

其中 μ 为沉积物粘度, $\frac{du}{dy}$ 为流速梯度,取值为经验值。

[0028] 基于力矩平衡原理,通过颗粒剥离剪切力和临界提升力的力矩确定深海矿产资源集矿头的离地高度,该离地高度为确保颗粒可脱离底床的高度,公式如下：

$$H \geq \frac{\tau \cdot d_p}{2F_L};$$

其中H为离地高度, τ 为颗粒剥离剪切力, d_p 为颗粒直径, F_L 为临界提升力。

[0029] 在“基于流体密度、流场作用长度以及曲面板两侧压力差确定深海矿产资源集矿头的康达表面板的曲率半径”步骤中,康达曲面板的曲率半径的设计需满足附壁效应最大化的条件,确保射流沿曲面稳定流动而不分离,具体的,确定深海矿产资源集矿头的康达表面板的曲率半径的公式如下：

$$R = \frac{U^2 \rho_f}{\Delta P} \cdot \left(1 + \frac{L}{R}\right); L = \kappa R;$$

其中R为康达表面板的曲率半径, ΔP 为康达表面板两侧的压力差,L为流场作用长度, κ 为经验值, ρ_f 为流体密度,U是射流速度U。

[0030] 需要说明的是,康达表面板两侧的压力差通过伯努利方程计算得到,为了简化计算,在初始参数的计算时,可假设在分离侧的流速接近为0,此时压力差的简化计算公式为：

$$\Delta P \approx \frac{1}{2} \rho_f U^2。$$

[0031] 另外,需要说明的是,由于流场作用长度与康达表面板的曲率半径的比例会影响附壁稳定性,故需要引入 $\left(1 + \frac{L}{R}\right)$ 作为修正因子。

[0032] 关于步骤S4：

根据初始参数使用CFD软件开展清水流场模拟得到模拟结果,其中模拟结果指的是评估当前深海矿产资源集矿头的集矿效果的数值,选自流速、压力、压力梯度的一种或几种。

[0033] 在“基于模拟结果调整深海矿产资源集矿头的初始参数以确定设计参数”步骤中,比对曲面板两侧的压力差以确保曲面板的曲率半径的设计合理性,且确保升力大于临界提升力。

[0034] 在一些实施例中,若升力不足,则加大曲率半径 R 或提高射流速度 U 或降低离地高度 H 或减小射流口宽度 D 后得到优化后的设计参数,并基于设计参数重新进行开展清水流场模拟,选择模拟结果最好时对应的设计参数设计深海矿产资源集矿头。

[0035] 实施例二

本方案的实施例一提供的基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法被应用于设计深海矿产资源集矿头的设计参数,需要说明的是,本方法还可应用于各种深海矿产资源采集,矿产资源包括但不限于锰结核、多金属硫化物、富钴结壳、磷块岩的一种,通过适当调整关键参数和装置设计,实现对不同种类、不同粒径的深海矿物的有效收集。

[0036] 实施例三

本方案的实施例一提供了基于康达效应的深海矿产资源集矿头的设计优化方法,为了验证该设计优化方法的可行性,本申请团队做了以下实验:

利用该设计优化方法进行仿真得到试验与仿真数据对比结果图如图4所示,由图4可以看到仿真设计的可行性;同时得到不同位置($L_1L_2L_3$)的压力和压力梯度分布如图5所示,由图5可以看到说明在 L_2 处负压降低,压力梯度增加,为颗粒的临界位置。

[0037] 本领域的技术人员应该明白,以上实施例的各技术特征可以进行任意的组合,为使描述简洁,未对上述实施例中的各个技术特征所有可能的组合都进行描述,然而,只要这些技术特征的组合不存在矛盾,都应当认为是本说明书记载的范围。

[0038] 以上实施例仅表达了本申请的几种实施方式,其描述较为具体和详细,但并不能因此而理解为对本申请范围的限制。应当指出的是,对于本领域的普通技术人员来说,在不脱离本申请构思的前提下,还可以做出若干变形和改进,这些都属于本申请的保护范围。因此,本申请的保护范围应以所附权利要求为准。

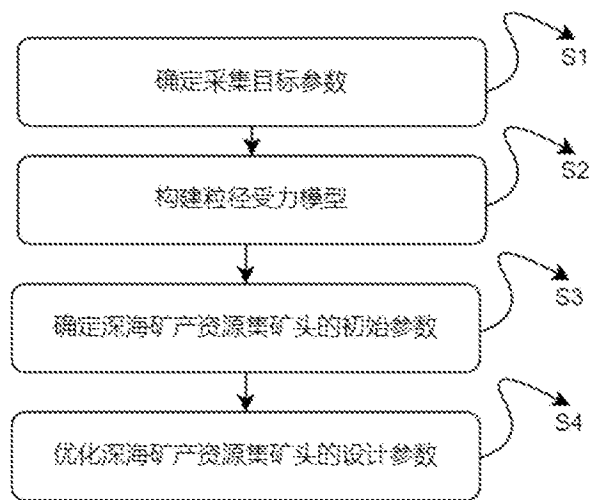


图 1

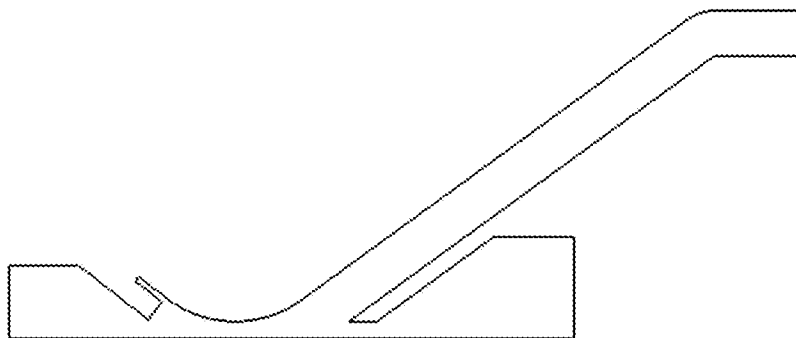


图 2

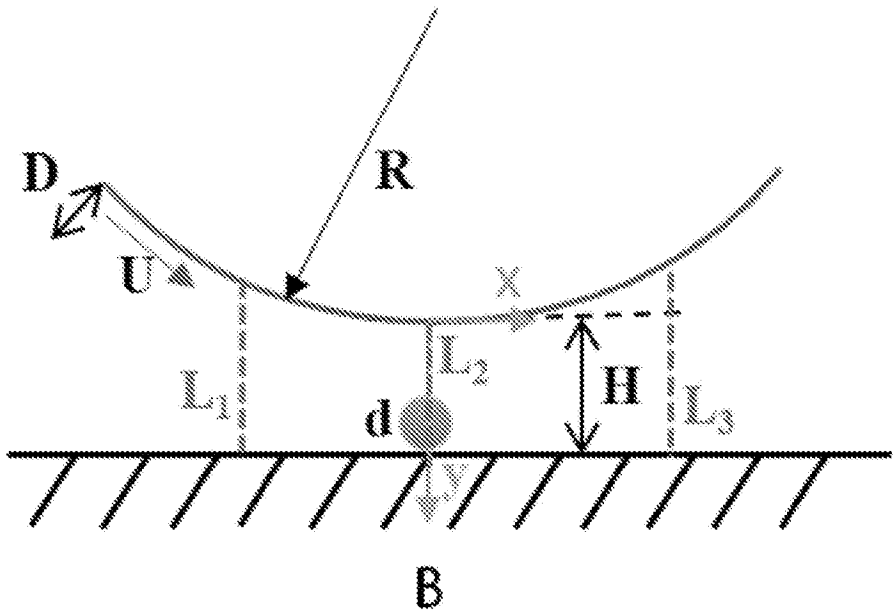


图 3

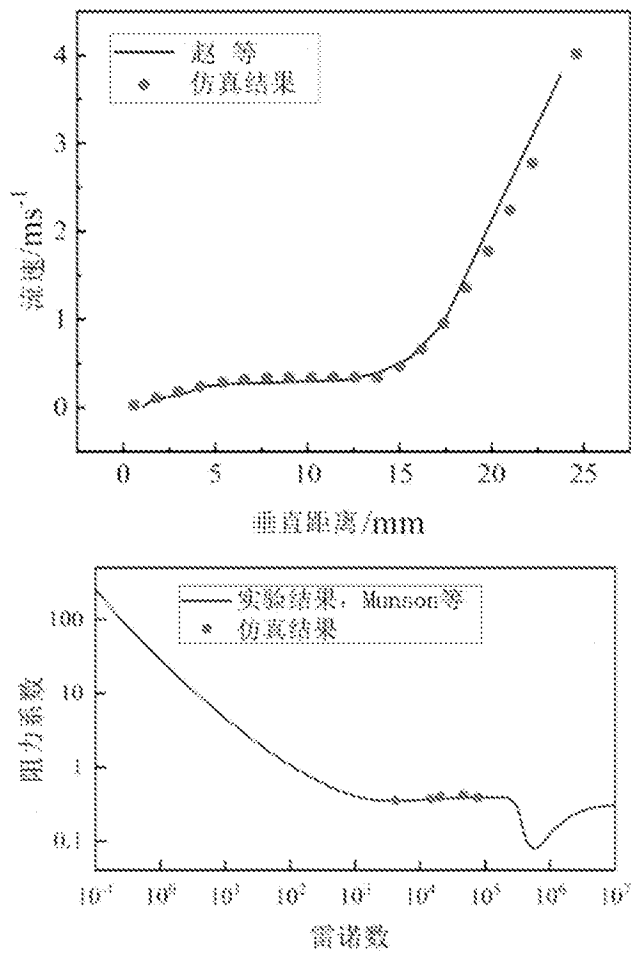


图 4

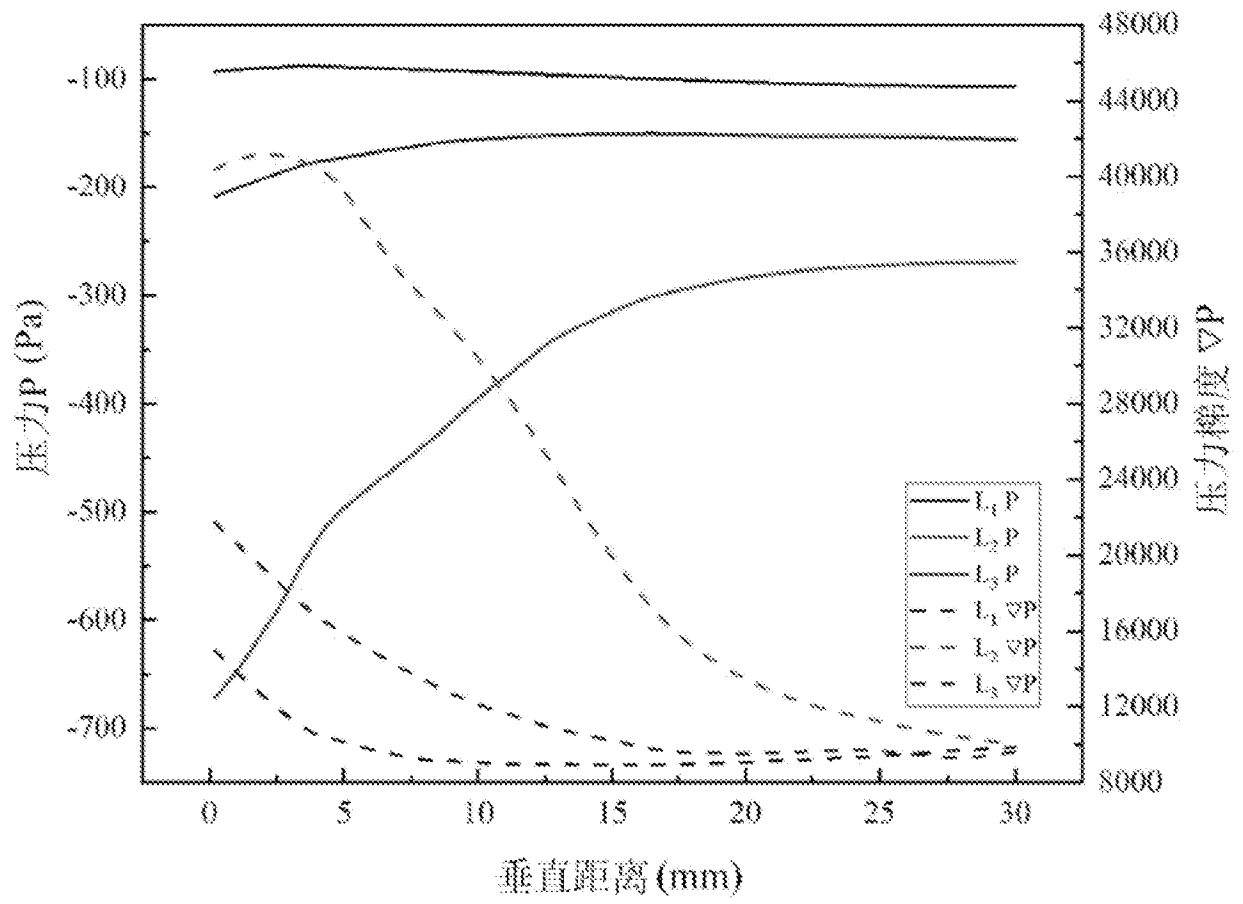


图 5