



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103617331 A

(43) 申请公布日 2014. 03. 05

(21) 申请号 201310675254. 9

(22) 申请日 2013. 12. 13

(71) 申请人 内蒙古工业大学

地址 010051 内蒙古自治区呼和浩特市新城
区爱民街 49 号内蒙古工业大学机械学
院

(72) 发明人 翟之平 周蕊 周岗 朱明新
杨忠义

(51) Int. Cl.

G06F 17/50 (2006. 01)

G06F 9/455 (2006. 01)

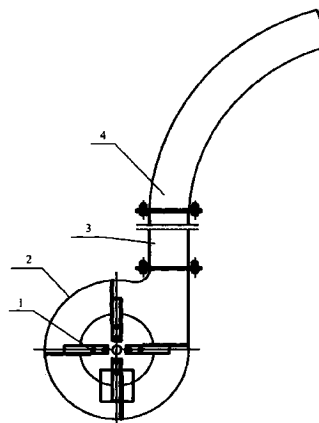
权利要求书2页 说明书4页 附图5页

(54) 发明名称

一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法

(57) 摘要

本发明公开了一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法,其特征在于:步骤如下:1) 通过高速摄像试验观察出料管中物料的运动规律,结合理论分析建立出料管中物料运动的数学模型;2) 采用欧拉-拉格朗日法对出料管中的气固两相流动进行数值仿真,其中物料运动规律采用用户自定义函数,为上述已建物料运动数学模型,并将数值仿真结果与高速摄像试验结果比较验证其可靠性;3) 在相同工况情况下,选取出料管结构形状及参数,对其内部气固两相流动进行仿真,利用物料离开出料管的运动速度的仿真结果,确定出料管结构形状的优化结果。本发明缩短了开发周期,而且提高了设计效率、设计质量和一次开发的成功率。



1. 一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法,其特征在于:步骤如下:

1)、通过高速摄像试验观察出料管中物料的运动规律,结合理论分析建立出料管中物料运动的数学模型;

2)、采用计算流体力学软件Fluent中的欧拉-拉格朗日法对出料管中的气固两相流动进行数值仿真,其中物料运动规律采用用户自定义函数,为上述已建物料运动数学模型,并将数值仿真结果与高速摄像试验结果比较验证其可靠性;

3)、在相同工况情况下,选取出料管结构形状及参数,对其内部气固两相流动进行仿真,利用物料离开出料管的运动速度的仿真结果,确定出料管结构形状的优化结果。

2. 根据权利要求1中所述的一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法,其特征在于:所述步骤1)中建立抛送装置出料管内物料运动的数学模型:

由高速摄像试验可观察到物料颗粒离开抛送叶片后,以分散的方式沿出料直管垂直向上运动,直到与出料弯管上壁碰撞,然后以密集的方式沿弯管上壁运动直至被抛离出料管;

(1) 物料颗粒刚离开抛送叶片时,受到的离心力远大于气流所受到的离心力,因此物料速度 v_p 大于气流平均速度 v_a ,气流对物料的作用力 P_a 为气动阻力,方向与物料运动方向相反;物料在重力、摩擦碰撞阻力及气动阻力作用下以分散的方式沿出料直管垂直向上运动,其速度逐渐下降,当下降到低于气流速度时,气流对物料产生向上的气动力,维持物料向上的速度;

出料直管内物料运动的方程式为:

$$m_p \frac{d^2 l}{dt^2} = P_a - m_p g \quad (1)$$

方程式中, m_p 为物料颗粒质量,单位为 kg; l 为颗粒流运动路径,单位为 m; t 为颗粒运动时间,单位为 s; g 为重力加速度,单位为 m/s^2 ; P_a 为气动力,单位为 N;

$P_a = m_p g \frac{(v_a - v_p)|v_a - v_p|}{v_s^2}$, 其中 v_s 为物料颗粒悬浮速度,单位为 m/s 。

(2) 物料进入出料弯管后与其外管壁碰撞,设碰撞为非弹性碰撞,碰撞后的平均速度为 v_2 , 则

$$\frac{1}{2} m_p v_2^2 = \frac{1}{2} m_p v_1^2 - \frac{1}{2} m_p v_1^2 \sin^2 \alpha + m_p v_1 \sin \alpha f v_m \quad (2)$$

式中, v_1 为物料与管壁碰撞前的平均速度,单位为 m/s ; α 为碰撞角; f 为物料与管壁的摩擦系数; v_m 为碰撞过程中的平均速度, $v_m = \frac{v_1}{2} \left[-f \sin \alpha + \sqrt{(f \sin \alpha)^2 + 4 \cos^2 \alpha} \right]$, 单位为 m/s ;

(3) 物料与管壁碰撞后在离心力的作用下,与气流分离,在重力 $m_p g$ 、离心力 $\frac{m_p}{r} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2$ 及摩擦力 $f \left[\frac{m_p}{r} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 - m_p g \sin \frac{l}{r} \right]$ 作用下,以密集的方式沿弯管上壁运动,物料运动方程为:

$$m_p \frac{d^2 l}{dt^2} + m_p g \cos \frac{l}{r} + f \left[\frac{m_p}{r} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 - m_p g \sin \frac{l}{r} \right] = 0 \quad (3)$$

式中, r 为出料弯管外壁曲率半径, 单位为 m 。

3. 根据权利要求 1 中所述的一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法, 其特征在于: 所述步骤 2) 中基于欧拉 - 拉格朗日法建立出料管中气固两相流动数值仿真模型:

选取整个叶片式抛送装置的流动空间作为计算区域, 在 CFD 的前处理软件 GAMBIT 中生成计算区域的实体模型, 并对计算区域进行网格划分; 计算区域的进口设为速度进口边界条件, 出口设为压力出口, 给定标准大气条件作为压力边界值;

采用欧拉 - 拉格朗日法模拟出料管内的气固两相流动, 即在欧拉坐标系下考察气流的运动, 在拉格朗日坐标系下研究固体颗粒的运动; 选取 Fluent 软件中的 DPM (Discrete Phase Model) 模型, 考虑物料流和气流的相互作用, 采用耦合计算; 其中出料管中物料运动规律采用用户自定义 UDF (User-Defined Functions、) 函数, 为上述已建物料运动数学模型; 将数值模拟结果与出料管内物料运动的高速摄像试验结果比较, 验证数学模型及数值计算结果的可靠性。

4. 根据权利要求 1 中所述的一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法, 其特征在于: 所述步骤 3) 利用数值仿真模型对叶片式抛送装置出料管结构形状进行优化

在相同工况下, 分别选取出料管结构形状及参数, 对各种形状出料管内部气固两相流动进行仿真, 利用物料离开出料管速度的仿真结果, 确定出料管结构形状的优化结果; 相同条件下, 物料离开出料管的速度越高, 那么物料与管壁碰撞、摩擦能耗越小, 功耗越小, 抛送效率越高, 抛送距离越远, 越不易堵塞。

一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法

技术领域

[0001] 本发明属于农业纤维物料收获和加工机械设计与计算机辅助设计的交叉领域，具体地说，涉及一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法。

背景技术

[0002] 叶片式抛送装置广泛应用于各种牧草、青贮饲料收获机、秸秆粉碎还田机、各种揉碎机和切碎机等农业纤维物料收获和加工机械上。叶片式抛送装置主要由抛送叶轮、抛送外壳以及出料管（包括出料直管和出料弯管）等组成。工作时高速旋转的抛送叶轮所产生的空气流在出料管协助输送物料。

[0003] 在实际应用中，叶片式抛送装置主要存在着抛送功耗大、抛送效率低，容易堵塞以及抛送距离不能满足要求等问题。为了将物料抛送到指定位置，出料管由出料直管和出料弯管两部分组成。物料沿直管运动经过弯管部分会与弯管外壁发生碰撞，然后沿弯管外壁运动直到被抛出。如果出料管的结构形状设计得不合理，物料与管壁的碰撞、摩擦能耗就会增大，物料离开出料管的速度降低，不但会使抛送功耗增大，抛送效率降低，抛送距离不能满足要求，而且极易使抛送装置堵塞。

[0004] 目前国外主要采用试验研究的方法通过改进结构来降低叶片式抛送装置的功耗、提高抛送效率以及增加抛送距离。国内主要通过理论分析和试验研究的方法确定某些特定条件下抛送装置的结构参数。设计出的抛送装置是否功耗小、抛送效率高、不易阻塞且满足抛送距离要求，还需加工出样机进行试验研究才能确定，如不满足要求还需重新调整其结构及形状参数。存在设计研发过程周期长、工作量大、成本高等缺陷，制约了产品质量的提高。

[0005] 计算流体力学仿真技术已经比较成熟，为叶片式抛送装置出料管的结构优化设计提供了强有力的工具。利用该技术可以快速模拟各种真实工况下出料管内物料的运动特征以及速度，从而无需制造物理样机就可获得抛送装置出料管的优化设计方案，不仅缩短了开发周期，而且提高了设计效率、设计质量和一次开发的成功率。

发明内容

[0006] 本发明要解决的技术问题是克服上述缺陷，提供一种基于计算机仿真的适应快速开发需求的叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法，利用物料离开出料管时的运动仿真结果，来确定出料管结构形状优化设计方案。最终获得一个结构形状更为合理的叶片式抛送装置出料管，从而有效地降低抛送装置功耗，提高抛送效率，满足抛送距离要求。

[0007] 为解决上述问题，本发明所采用的技术方案是：

[0008] 一种叶片式抛送装置出料管结构形状优化设计方法，其特征在于：步骤如下：

[0009] 1)、通过高速摄像试验观察出料管中物料的运动规律，结合理论分析建立出料管中物料运动的数学模型；

[0010] 2)、采用计算流体力学软件Fluent中的欧拉-拉格朗日法对出料管中的气固两相

流动进行数值仿真,其中物料运动规律采用用户自定义函数,为上述已建物料运动数学模型,并将数值仿真结果与高速摄像试验结果比较验证其可靠性;

[0011] 3)、在相同工况情况下,选取出料管结构形状及参数,对其内部气固两相流动进行仿真,利用物料离开出料管的运动速度的仿真结果,确定出料管结构形状的优化结果。

[0012] 作为一种改进的技术方案,所述步骤 1) 中建立抛送装置出料管内物料运动的数学模型:

[0013] 由高速摄像试验可观察到物料颗粒离开抛送叶片后,以分散的方式沿出料直管垂直向上运动,直到与出料弯管上壁碰撞,然后以密集的方式沿弯管上壁运动直至被抛离出料管;

[0014] (1) 物料颗粒刚离开抛送叶片时,受到的离心力远大于气流所受到的离心力,因此物料速度 v_p 大于气流平均速度 v_a ,气流对物料的作用力 P_a 为气动阻力,方向与物料运动方向相反;物料在重力、摩擦碰撞阻力及气动阻力作用下以分散的方式沿出料直管垂直向上运动,其速度逐渐下降,当下降到低于气流速度时,气流对物料产生向上的气动力,维持物料向上的速度;

[0015] 出料直管内物料运动的方程式为:

$$[0016] \quad m_p \frac{d^2 l}{dt^2} = P_a - m_p g \quad (1)$$

[0017] 方程式中, m_p 为物料颗粒质量,单位为 kg; l 为颗粒流运动路径,单位为 m; t 为颗粒运动时间,单位为 s; g 为重力加速度,单位为 m/s^2 ; P_a 为气动力,单位为 N;

$$P_a = m_p g \frac{(v_a - v_p) |v_a - v_p|}{v_s^2}, \text{其中 } v_s \text{ 为物料颗粒悬浮速度,单位为 } m/s。$$

[0018] (2) 物料进入出料弯管后与其外管壁碰撞,设碰撞为非弹性碰撞,碰撞后的平均速度为 v_2 ,则

$$[0019] \quad \frac{1}{2} m_p v_2^2 = \frac{1}{2} m_p v_1^2 - \frac{1}{2} m_p v_1^2 \sin^2 \alpha + m_p v_1 \sin \alpha f v_m \quad (2)$$

[0020] 式中, v_1 为物料与管壁碰撞前的平均速度,单位为 m/s ; α 为碰撞角; f 为物料与管壁的摩擦系数; v_m 为碰撞过程中的平均速度,

$$v_m = \frac{v_1}{2} \left[-f \sin \alpha + \sqrt{(f \sin \alpha)^2 + 4 \cos^2 \alpha} \right], \text{单位为 } m/s;$$

[0021] (3) 物料与管壁碰撞后在离心力的作用下,与气流分离,在重力 $m_p g$ 、离心力

$\frac{m_p}{r} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2$ 及摩擦力 $f \left[\frac{m_p}{r} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 - m_p g \sin \frac{l}{r} \right]$ 作用下,以密集的方式沿弯管上壁运动,物料运动方程为:

$$[0022] \quad m_p \frac{d^2 l}{dt^2} + m_p g \cos \frac{l}{r} + f \left[\frac{m_p}{r} \left(\frac{dl}{dt} \right)^2 - m_p g \sin \frac{l}{r} \right] = 0 \quad (3)$$

[0023] 式中, r 为出料弯管外壁曲率半径,单位为 m。

[0024] 作为一种改进的技术方案,所述步骤 2) 中基于欧拉-拉格朗日法建立出料管中气固两相流动数值仿真模型:

[0025] 选取整个叶片式抛送装置的流动空间作为计算区域,在 CFD 的前处理软件 GAMBIT 中生成计算区域的实体模型,并对计算区域进行网格划分;计算区域的进口设为速度进口边界条件,出口设为压力出口,给定标准大气条件作为压力边界值;

[0026] 采用欧拉-拉格朗日法模拟出料管内的气固两相流动,即在欧拉坐标系下考察气流的运动,在拉格朗日坐标系下研究固体颗粒的运动;选取 Fluent 软件中的 DPM(Discrete Phase Model) 模型,考虑物料流和气流的相互作用,采用耦合计算;其中出料管中物料运动规律采用用户自定义 UDF(User-Defined Functions) 函数,为上述已建物料运动数学模型;将数值模拟结果与出料管内物料运动的高速摄像试验结果比较,验证数学模型及数值计算结果的可靠性。

[0027] 作为一种改进的技术方案,所述步骤 3) 利用数值仿真模型对叶片式抛送装置出料管结构形状进行优化

[0028] 在相同工况下,分别选取出料管结构形状及参数,对各种形状出料管内部气固两相流动进行仿真,利用物料离开出料管速度的仿真结果,确定出料管结构形状的优化结果;相同条件下,物料离开出料管的速度越高,那么物料与管壁碰撞、摩擦能耗越小,功耗越小,抛送效率越高,抛送距离越远,越不易堵塞。

[0029] 由于采用了上述技术方案,与现有技术相比,本发明可以快速模拟各种真实工况下出料管内物料的运动特征以及速度,从而无需制造物理样机就可获得抛送装置出料管的优化设计方案,不仅缩短了开发周期,而且提高了设计效率、设计质量和一次开发的成功率。

[0030] 同时下面结合附图和具体实施方式对本发明作进一步说明。

附图说明

[0031] 图 1 为本发明一种实施例中叶片式抛送装置的结构示意图;

[0032] 图 2 为本发明一种实施例中物料在出料弯管内的运动以及受力示意图;

[0033] 图 3 为物料在出料弯管内运动速度的仿真和实测结果对比示意图;

[0034] 图 4 为出料弯管外壁五种曲线形状示意图;

[0035] 图 5 为不同曲线形状出料弯管内物料运动速度仿真结果比较示意图;

[0036] 图 6 为不同截面形状出料管内物料运动速度仿真结果比较示意图。

具体实施方式

[0037] 实施例:

[0038] 如附图 1 所示,叶片式抛送装置包括抛送叶轮 1、抛送外壳 2 以及出料管,出料管包括出料直管 3 和出料弯管 4。叶片式抛送装置的已知条件为:叶片式抛送装置叶轮外径为 $\Phi 700\text{mm}$ 、叶片宽度 160mm 、叶片厚 5mm 、叶片数 4,叶片倾角为径向叶片,叶轮转速为 650r/min 。所抛送物料为黄玉米秸秆切碎段,切碎长度 $20 \sim 25\text{mm}$,平均直径 $\Phi 15.4\text{mm}$,平均密度 $9.21 \times 10^{-8} \text{kg/mm}^3$ 。喂入量为 0.5kg/s 。

[0039] (1)、将以上各已知参数值代入公式 (1)、(2) 以及 (3)。

[0040] (2)、选取整个叶片式抛送装置的流动空间作为计算区域。在 CFD 的前处理软件 GAMBIT 中生成计算区域的实体模型,并对计算区域进行网格划分。计算区域的进口设为速

度进口边界条件,其中物料和气流速度均为 6.5m/s 。出口设为压力出口,给定标准大气条件作为压力边界值。

[0041] 采用欧拉-拉格朗日法模拟出料管内的气固两相流动,即在欧拉坐标系下考察气流的运动,在拉格朗日坐标系下研究固体颗粒的运动。选取 Fluent 软件中的 DPM(Discrete Phase Model) 模型,考虑物料流和气流的相互作用,采用耦合计算。其中出料管中物料运动规律采用用户自定义 UDF(User-Defined Functions) 函数,为上述已建物料运动数学模型 (1)、(2) 以及 (3)。

[0042] 将数值模拟结果与出料管(弯管外壁曲率半径为 2500mm) 内物料运动的高速摄像试验结果比较,如附图 3 所示。仿真模拟值与试验值的绝对误差在 $\pm 8\text{mm}$ 之间,相对误差在 $\pm 5\%$ 之间,说明模拟值与试验值基本吻合。验证了数学模型及数值计算结果的可靠性。

[0043] (3) 在相同条件(抛送装置叶轮外径为 $\Phi 700\text{mm}$ 、叶片宽度 160mm 、叶片厚 5mm ,叶片数 4,叶片倾角为径向叶片,抛送黄玉米秸秆切碎段、叶轮转速 650r/min 、喂入量 0.5kg/s) 下,分别选取多种出料管结构形状及参数,例如出料直管分别和一种曲率半径的弯管(弯管外壁曲率半径为 2500mm)、两种曲率半径的弯管(弯管外壁曲率半径分别为 1500mm 和 5500mm)、阿基米德螺旋线弯管、对数螺旋线弯管、水平轴抛物线弯管等结合(附图 4)。其中阿基米德螺旋线、对数螺旋线以及水平轴抛物线的极坐标方程分别为 (4)、(5) 以及 (6)。

$$[0044] \quad r = 3.784 \theta \quad (4)$$

$$[0045] \quad r = 203e^{-0.4\theta} \quad (5)$$

$$[0046] \quad r = 42^2 \frac{\cos \theta}{\sin^2 \theta} \quad (6)$$

[0047] 式中, r 为出料弯管外壁曲率半径,单位为 m 。 θ 为转角,如附图 4 所示。对上述五种曲线形状出料管内部气固两相流动进行仿真,物料运动的仿真结果如附图 5 所示。由附图 5 可知,上述五种曲线形状出料管中两种曲率半径的弯管(弯管外壁曲率半径分别为 1500mm 和 5500mm) 物料离开出料管时的平均速度最高,为 7.89m/s 。物料离开出料管的平均速度越高,那么物料与管壁碰撞、摩擦能耗越小,功耗越小,抛送效率越高,抛送距离越远,越不易堵塞。可见两种曲率半径的弯管较其他四种结构更合理。

[0048] 同理可得到截面积相同(截面面积均为 34596mm^2) 条件下不同出料管截面形状,即圆形($R = 104.97\text{mm}$)、方形($186\text{mm} \times 186\text{mm}$) 及矩形($279\text{mm} \times 124\text{mm}$) 的优化设计方案,如附图 6 所示。附图 6 为不同截面形状出料管内物料运动仿真结果比较图,由图可看出,圆形截面出料管内平均物料速度略高,这是由于圆形截面出料管内无尖角,与物料的摩擦及碰撞作用小于其他两种截面的缘故。由此可见圆形截面出料管较方形和矩形截面更合理。

[0049] 本发明不局限于上述的优选实施方式,任何人应该得知在本发明的启示下做出的结构变化,凡是与本发明具有相同或者相近似的技术方案,均属于本发明的保护范围。

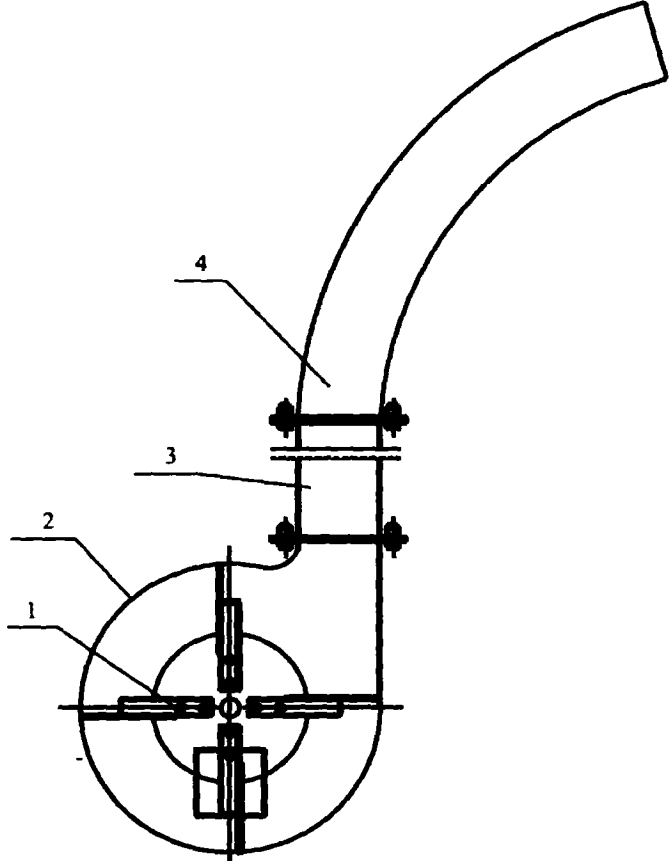
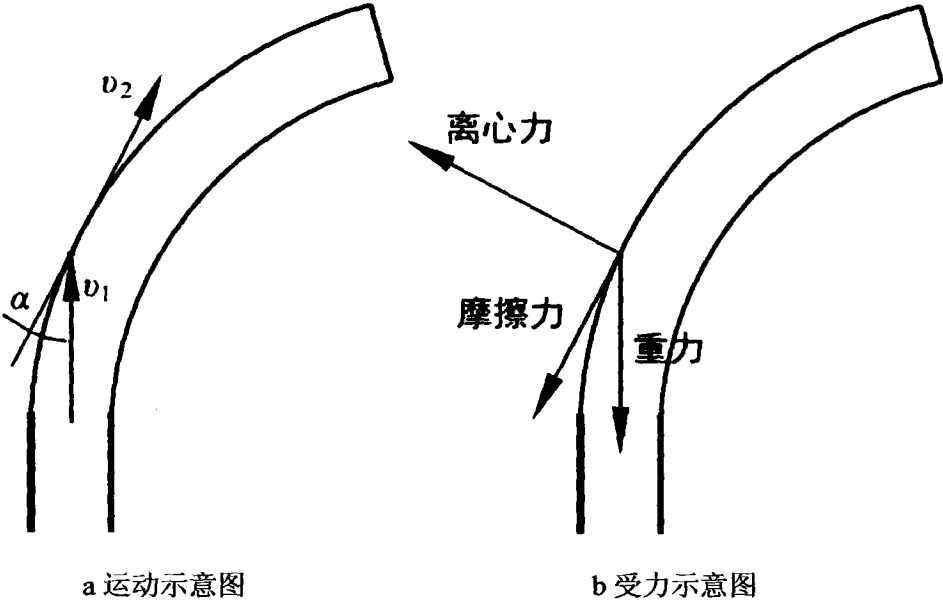


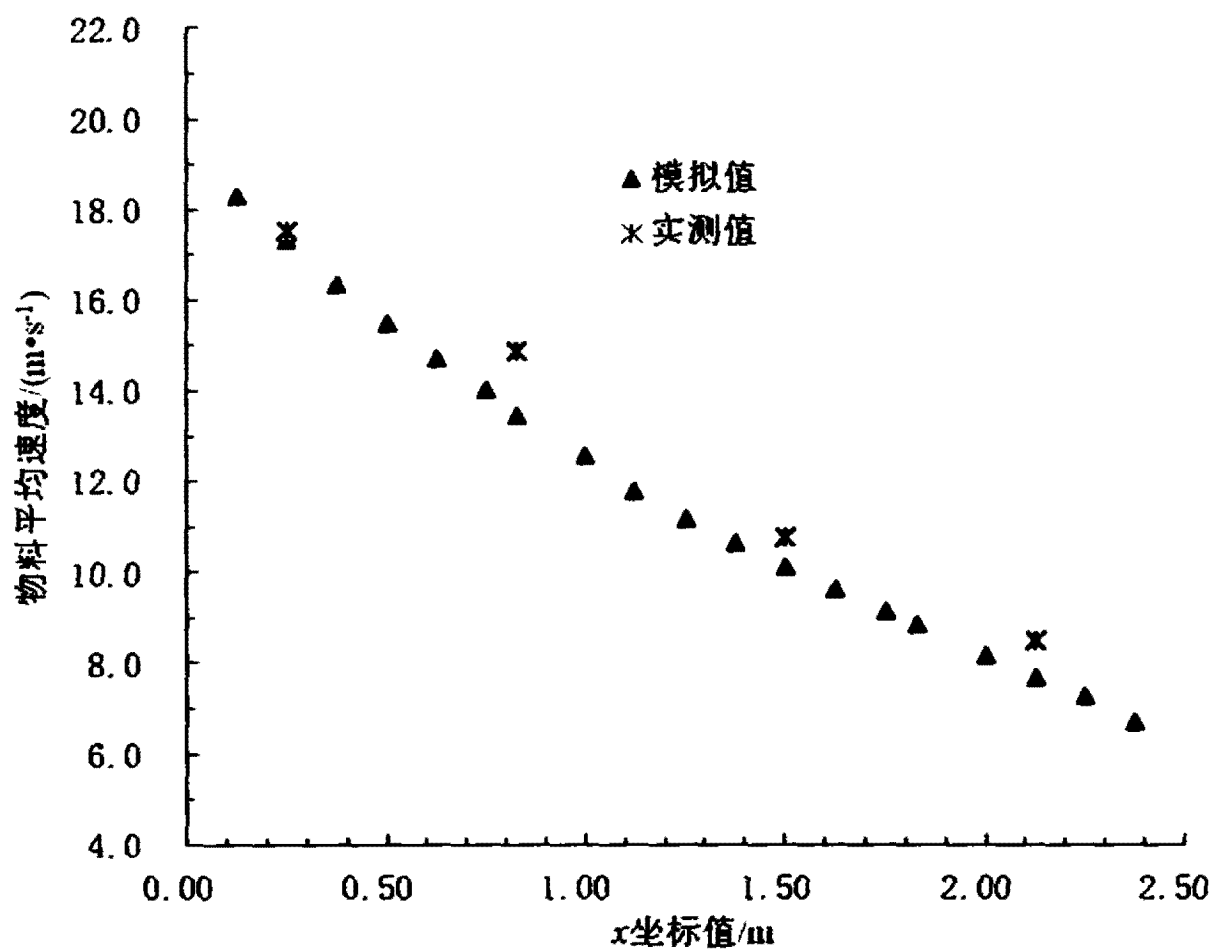
图 1



a 运动示意图

b 受力示意图

图 2



注：x 轴坐标原点同附图 4

图 3

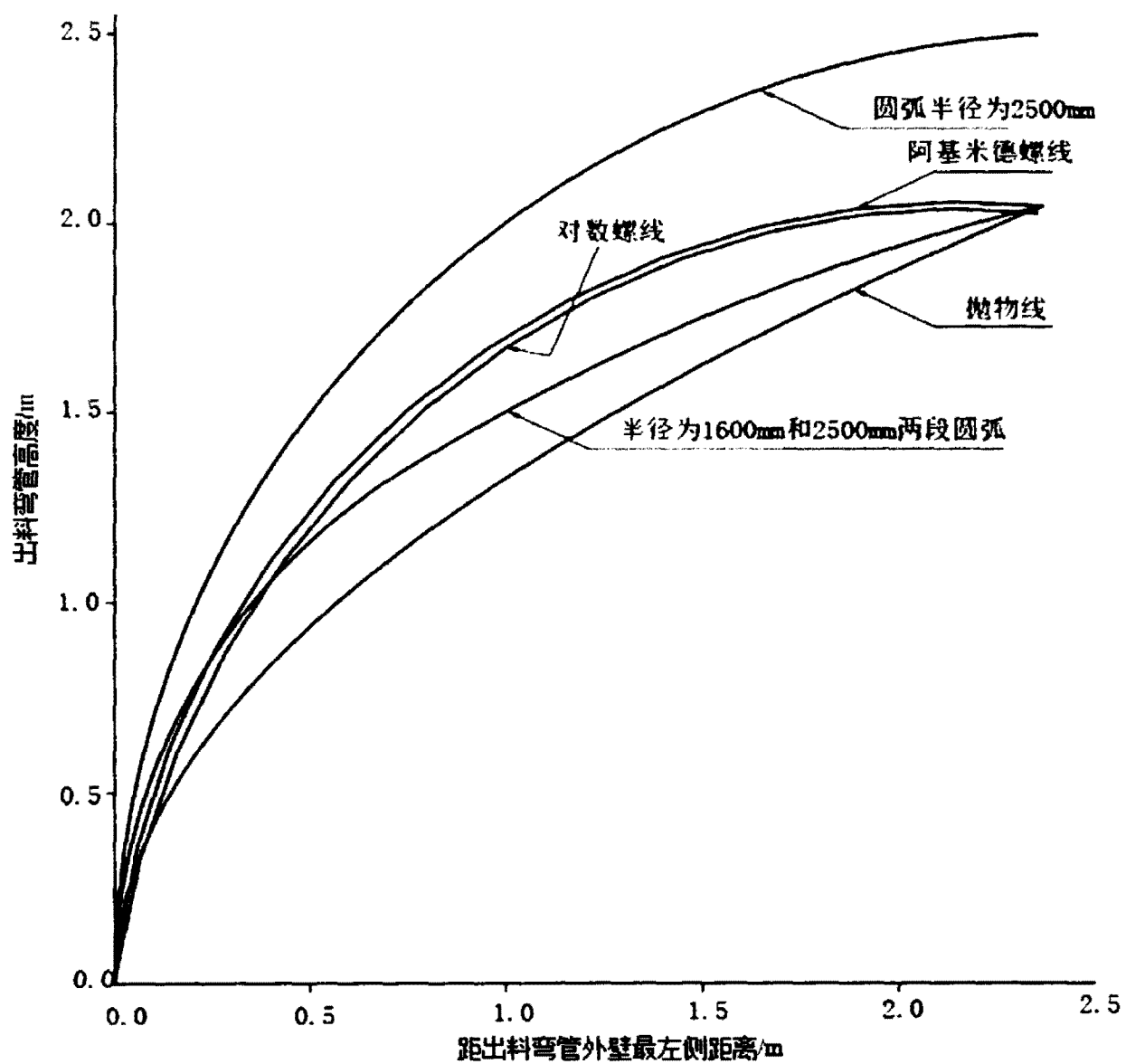
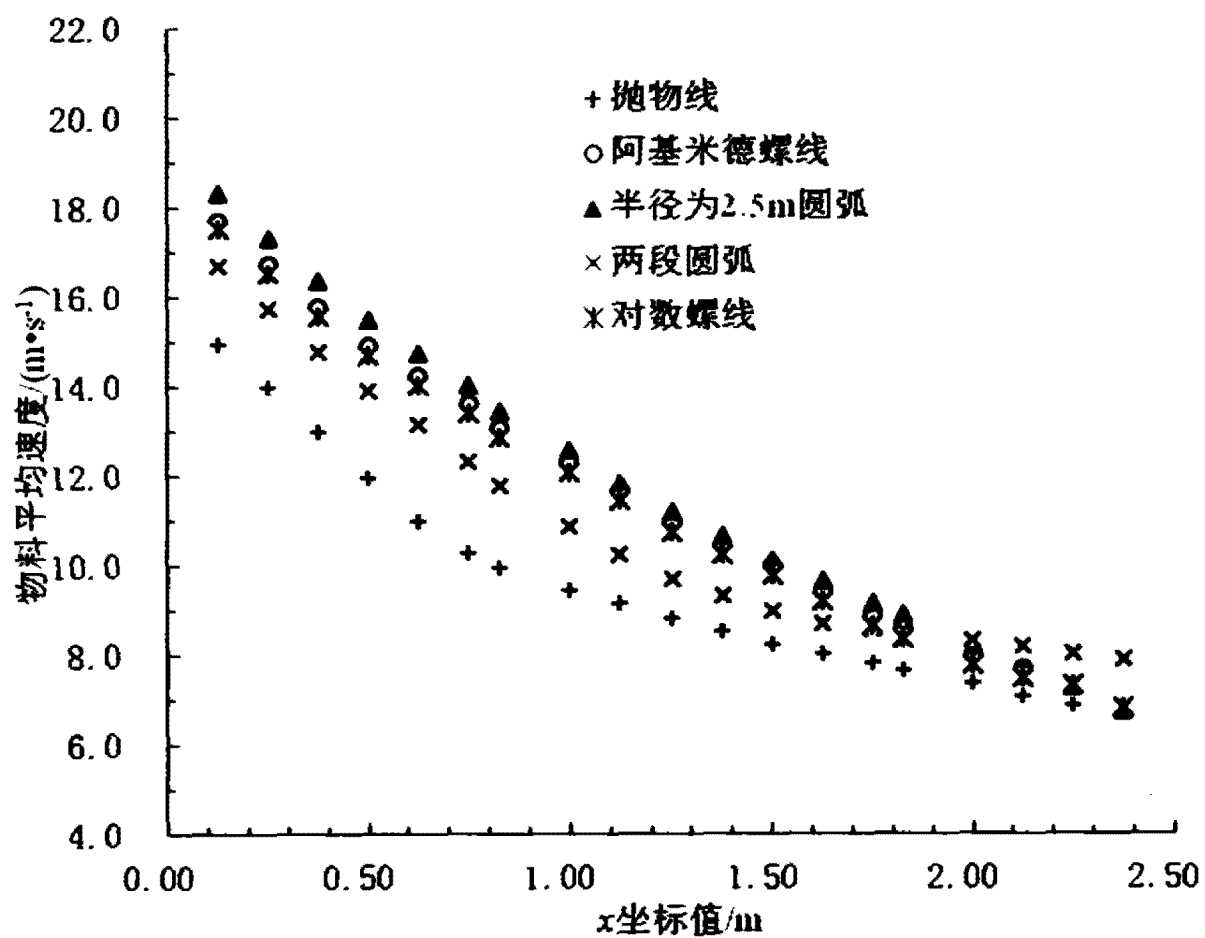
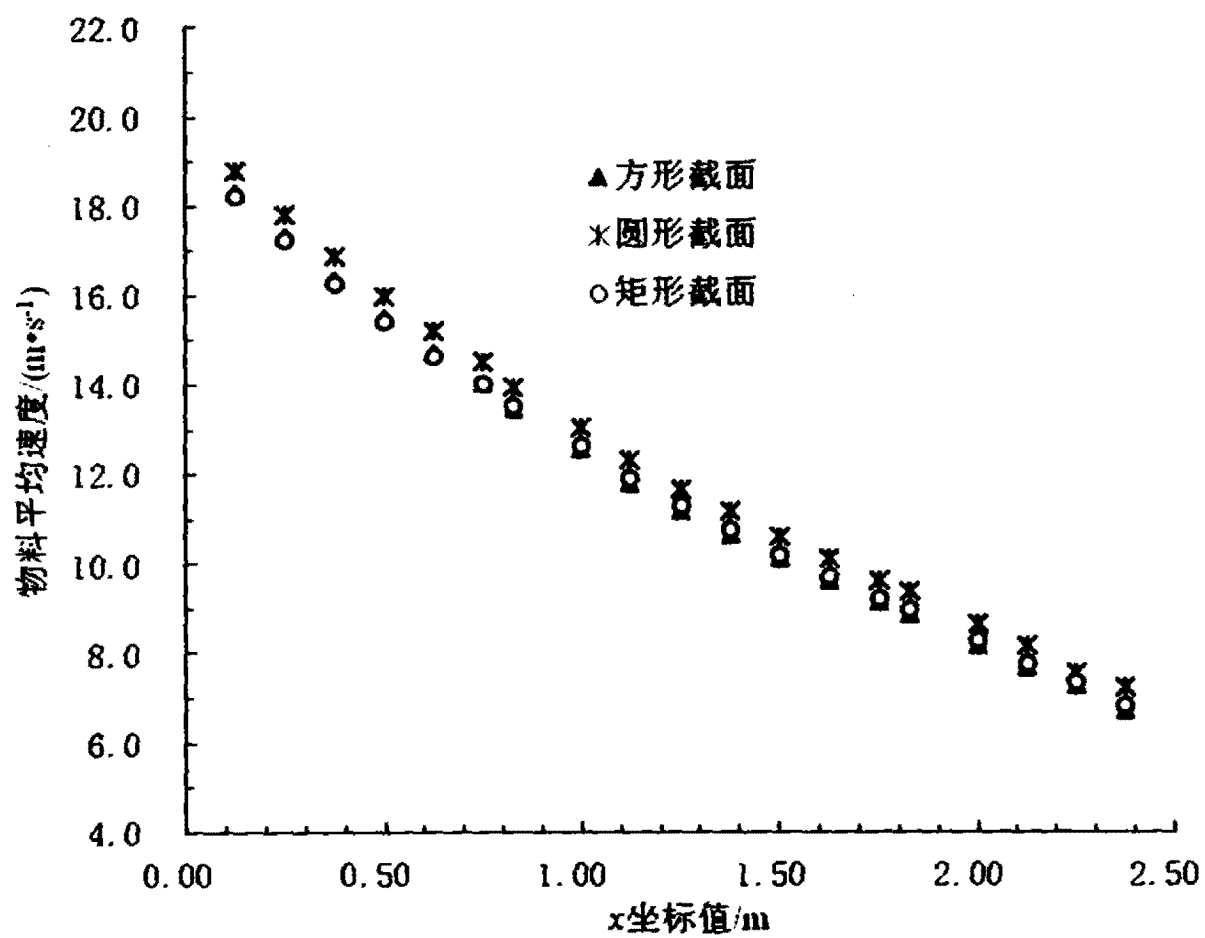


图 4



注：x 轴坐标原点同附图 4

图 5



注：x 轴坐标原点同附图 4

图 6