

农业物料球形颗粒临界速度动力特性的仿真

王泽南, 张 鹏

(合肥工业大学)

摘 要: 在 SMULNK 集成环境下, 利用临界速度动力特性的基本理论, 对农业物料球形颗粒在流体中的运动过程进行仿真。仿真模型可以完成 3 项工作: 获得物料在流体中运动过程的位移、速度、加速度曲线, 计算临界速度和计算达到临界速度的时间。

关键词: 农业物料; 临界速度; 仿真; SMULNK

中图分类号: O 351. 2

文献标识码: A

文章编号: 100226819(2002)0420014204

农业物料进入流体后的运动受到重力、浮力和流体阻力的综合作用, 是一个很复杂的过程。物料运动达到相对稳定时的速度称为临界速度, 是物料重要的流体动力特性, 在输送、分离、干燥等农业工程领域有着重要的应用^[1]。由于流体阻力随着两相流相对运动速度的变化而变化, 因此很难对整个运动过程进行精确的数学描述。过去只能通过试验来获得各种物料运动曲线^[2], 但实验耗资大、步骤繁、适用面窄。计算机仿真软件 SMULNK 为解决上述问题提供了一种新型、方便又实用的方法^[3]。本文取简单的单粒球形农业物料, 对其在流体中运动以及获得临界速度的动力特性进行仿真研究。

1 临界速度动力特性的数学模型

物料在流体中由初始到获得临界速度, 其相对重力应与流体阻力达到平衡^[1, 2, 4~8]。

物料为单粒球形时, 相对重力即物料重力与浮力之差

$$W_s = (Q - Q_d) \frac{\pi}{6} d_s^3 g \quad (1)$$

式中 W_s ——物料的相对重力; d_s ——球体物料直径; Q ——物料的密度; Q_d ——流体的密度; g ——重力加速度, m/s^2 。

由流体力学原理, 流体对运动物料的阻力

$$R = C A_s Q_d v^2 \quad (2)$$

式中 R ——流体对物料的阻力; v ——物料与流体的相对运动速度; C ——阻力系数; A_s ——物料运动垂直方向投影面积。

当物料为单粒球形时, $A_s = \frac{\pi}{4} d_s^2$, 则

$$R = C \frac{\pi}{4} d_s^2 Q_d v^2 \quad (3)$$

相对重力 W_s 与流体的阻力 R 达到平衡, 应有

$$(Q - Q_d) \frac{\pi}{6} d_s^3 g = C \frac{\pi}{4} d_s^2 Q_d v^2 \quad (4)$$

式(4)中的阻力系数 C 是不确定的, 它是一个随流体雷诺数 Re 而变化的量, 目前采用试验方法来确定两者的关系。层流区 $Re < 1$: $C = 24/Re$; 过渡区: $1 < Re < 500$, $C = 10/Re^{1/2}$; 紊流区 $500 < Re < 2 \times 10^5$: $C = 0.44$ 。而流体雷诺数 Re 也是变化的, 雷诺数 $Re = \frac{L v}{\mu}$, 当流体动力粘度 L 、密度 Q 物料尺寸 d_s 确定以后, 它随相对速度 v 变化而变化。

因此式(4)表示动态的平衡过程, 稳定前, 物料的运动速度和加速度一直在不断变化。

2 临界速度动力特性的仿真模型

基于上面的数学模型, 利用 SMULNK 所提供的丰富的模块资源, 可以建立起如图 1 所示仿真模型。本模型旨在模拟球形颗粒农业物料在流体中受力和运动的过程。当物料以一定的初速度进入流体, 物料、流体间存在相对速度, 便产生流体对物料的阻力, 阻力与物料的相对重力没有达到平衡时, 合力就使物料产生加速度, 加速度又引起物料速度的变化, 并导致流体阻力和合力的再变化, 由于变化是收敛的, 最终阻力与相对重力达到平衡, 两相流处于相对稳定的状态。

仿真模型依据以上过程建立。其中, “参数”模块提供计算用的参数 Q 、 d_s 、 Q_d 等。“ W_s ”模块提供相对重力 W_s 。取阻力 R 与 W_s 的合力 F 为控制量, 当 F 为负时(取向上为正), $W_s > R$, 则使控制加速度 a 为正, 以增加相对速度从而增加阻力 R ; 当 F 为正时, 减小阻力 R ; 当 F 为零时, 阻力 R 不变, 即达到相对平衡状态。在模型中, v_s 表示物料相对流体的速度, v_∞ 表示流体相对物料的速度, 两者大小相等方向相反。通过调节“积分器 1”和“积分器 2”, 可以人为输入物料进入的初始值 v_s 和 v_∞ 。 a_0 为一个设定的加速度阈值, 取很小的值, 当加速度绝对值接近于零为阈值时, 即认定物料达到了相对稳定。

收稿日期: 2001212229

作者简介: 王泽南, 副教授, 合肥 合肥工业大学生物与食品学院, 230009

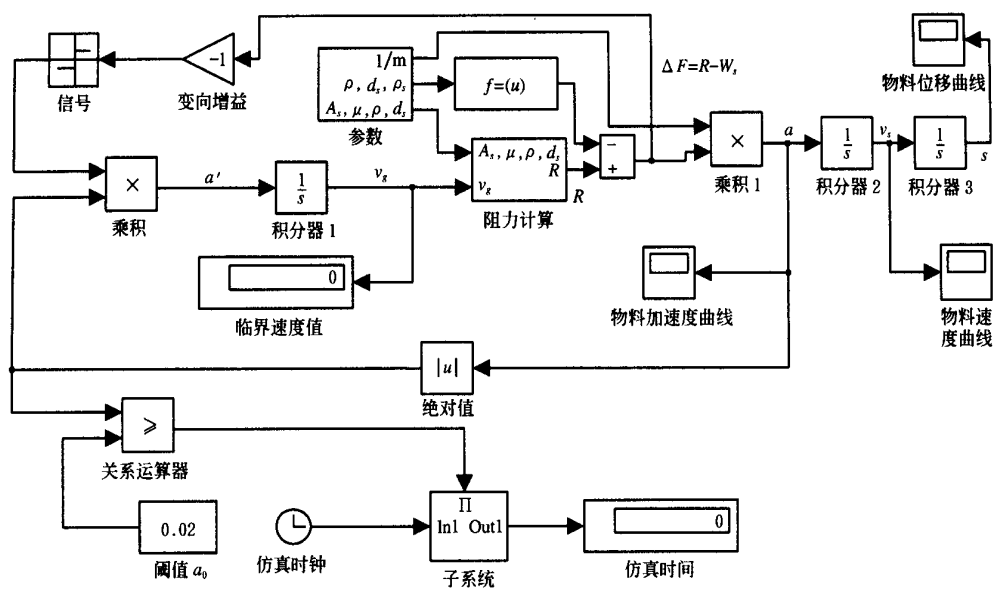


图 1 临界速度动力特性仿真模型

Fig 1 Simulation model on the critical velocity dynamical characteristics

仿真模型中的阻力计算子系统结构如图 2 所示, 它利用速度值来实时、动态地计算阻力 R 。两个输入口分别用于接受参数 A_s, L, Q, d_s 和相对速度 v_s 值。“ Re 计算”模块用于计算雷诺数 Re , 先通过 Re 的

值去寻求相应公式计算阻力系数 C , 然后利用“阻力计算”模块计算 R 值并输出。同一时刻, 3 个“阻力系数”模块只有一个在工作, 其它两个输出为零。

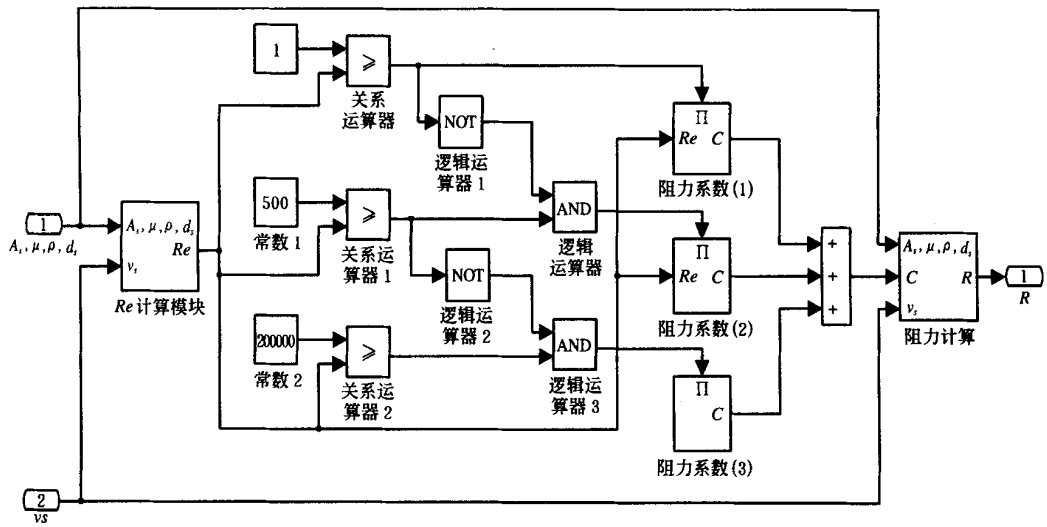


图 2 系统仿真模型中阻力计算子系统

Fig 2 Resistance calculated subsystem in the simulation model

3 仿真试验与分析

临界速度动力特性仿真模型可以完成 3 项主要的仿真工作。

3.1 获得物料运动的位移、速度、加速度曲线

仿真模型可以获取物料进入流体后运动的位移、速度和加速度曲线。这项内容是研究临界速度的解析方法无法实现的, 也是试验方法无法穷尽的。一

旦输入具体的流体和物料基本参数, 再输入物料进入流体的相对初速度, 经仿真, 就能得到对应的 3 种仿真曲线。

举例说明。仿真参数: $Q = 1.205 \text{ kg}\ddot{\text{a}}\text{m}^3$ 、 $L = 18.2 \times 10^{-6} \text{ Pa} \text{ s}$ 、 $Q = 7800 \text{ kg}\ddot{\text{a}}\text{m}^3$ 、 $d_s = 0.01 \text{ m}$, 物料进入流体的相对初速度 0, 图 3a、b、c 分别是仿真输出的位移、速度和加速度曲线。

位移、速度和加速度 3 种曲线对物料在流体中

运动的研究是很有意义的,尤其是初段曲线能很好地反映物料在相对稳定前的特定运动状态。以下仅

以位移曲线进行讨论与分析。

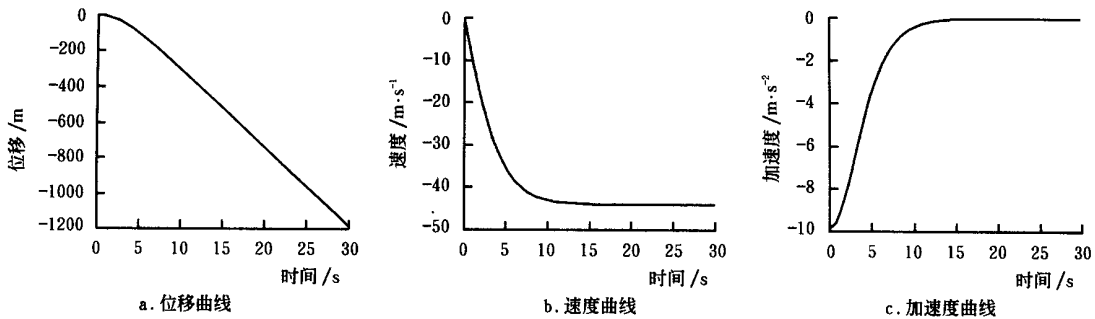


图3 物料以0 m/s 相对速度进入流体的仿真

Fig 3 Simulating curves of displace, velocity and acceleration of material got into liquid at the relative velocity of 0

物料进入流体后即开始运动,稳定前的位移基本状态是不尽相同的,经验表明,这与物料相对初速度的取值范围有关,它可分为4个区域。用 v_s 表示4个区域为: $v_s > 0$; $0 > v_s$ 临界速度; $v_s =$ 临界速度; $v_s <$ 临界速度。

前例中,可以计算出临界速度 $v_s = -43.81$ m/s ($v_g = 43.81$ m/s,计算方法见3.3)。在上述4个区域中,分别各取一个具体值: $v_s = 40$ m/s; $v_s = -10$ m/s; $v_s = -43.81$ m/s; $v_s = -90$ m/s,仿真结果,输出位移曲线分别如图4a、b、c、d。

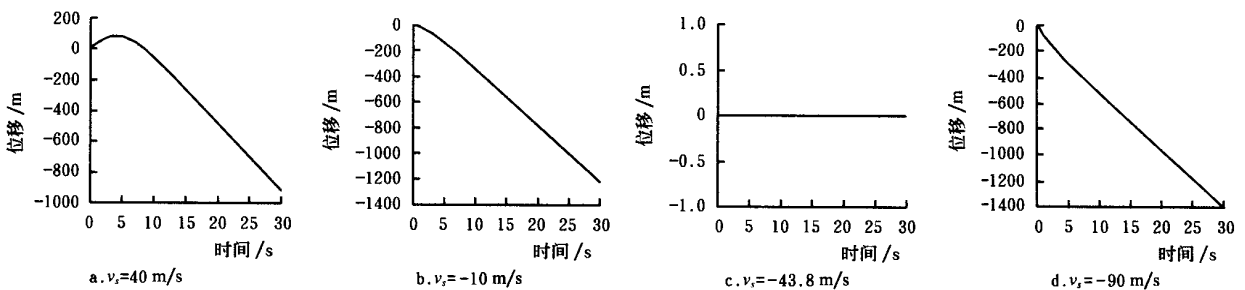


图4 物料以4种不同相对速度进入流体的仿真位移曲线

Fig 4 Simulative curves of displacement that material got into liquid at four different velocities

图4c的水平直线表示,如果物料开始正巧能以相对速度为临界速度进入流体,则它将一直处于位移无变化的稳定状态。图4a、b、d反映了更一般的3种情况,它们都显示出开始是一段曲线,若干时间后成为斜率不变的直线,成直线时系统相对稳定。3段开始的曲线形状是不同的:图4a曲线类似抛物线,先往上,再往下;图4b、4d均无往上的一段,往下的曲线分别是上凸和下凹的。这是由于图4a一开始的流体阻力和相对重力都向下,物体作减速向上运动,至速度为零时达到最高点,然后向下加速运动,阻力反向,当速度增加到临界速度时不再变化;图4b、4d物体一开始向下分别作加速运动和减速运动,直至相对稳定。以上4种情况完全概括了球形物料以不同初始条件进入流体的不同运动状况。文献[2]提供了比兰斯基通过实验测定的钢球及各种球形农业物料在空气中相对运动的时间-位移曲线,实验曲线与仿真曲线是非常一致的。

3.2 计算达到临界速度时的时间

物料以任一初速度进入流体到获得临界速度,加速度 $a = 0$,理论上需经历无限漫长的过渡过程,而实际中这一时间并不太长。仿真时,可以取 a 的绝对值很小即表示基本完成了过渡过程,为此模型中设置一阈值 a_0 ,可根据精确度要求取 $a_0 = 0.02$ 、 0.05 m/s²或更小,达到阈值的时间值即对应为达到临界速度的时间。

以图3为例,将 $a_0 = 0.02$ 与 $a_0 = 0.05$ m/s²分别输入仿真模型,以图3b速度曲线为基础,图5a、b分别表示计算出达到临界速度的时间 t 为16.96 s和14.91 s。

3.3 计算临界速度

计算临界速度已有很多方法,如 Cre^2 法、粒径法和图解法等^[4~8],本文构造的仿真模型又给出了一种新的计算方法:仿真法。具体操作是:将仿真参数输入,取阈值 a_0 ,仿真输出的相对速度值 v_g 即为

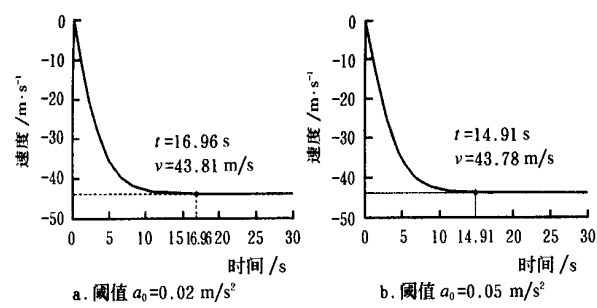


图 5 计算达到临界速度时间 t

Fig 5 Time (t) that the velocity reached critical value

物料的临界速度。由图 5a、b 看出, 取 $a_0 = 0.02$ 与 0.05 m/s^2 时, 临界速度 v_g ($-v_s$) 分别为 43.81 m/s 和 43.78 m/s 。

再举一例为与传统方法之一的粒径法进行比较。输入仿真参数: $Q = 2200 \text{ kg/m}^3$; $L = 18.2 \times 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$; $Q = 1.205 \text{ kg/m}^3$; $d_s = 1 \times 10^{-5}, 0.5 \times 10^{-3}, 0.01$, 其中参数 d_s 取了 3 种不同粒径。通过仿真, 取阈值 $a_0 = 0.02 \text{ m/s}^2$, 获得 3 种物料的临界速度仿真值。

表 1 粒径法与仿真法临界速度计算值比较

Table 1 Comparison of the grain diameter method and the simulation method with the calculated values of critical velocities

颗粒直径 $d_s/\mu\text{m}$	1×10^{-5}	0.5×10^{-3}	0.01
临界速度(用粒径法计算) $\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6.578×10^{-3}	3.612	23.28
临界速度(用仿真法计算) $\mu\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6.576×10^{-3}	3.609	23.28

表 1 中列出用粒径法与仿真法计算的 3 种不同粒径物料的临界速度值。所选 3 种粒径, 分别位于粒径法计算临界速度的 3 个不同区域, 其计算式各不相同^[4~8], 这样就保证了比较时的全面性。由表 1 看出, 仿真法与传统粒径法的计算值非常接近, 仿真是可信的。

4 结 语

基于 SMULNK 对农业物料球形颗粒在流体中的运动过程进行仿真。仿真模型可以完成 3 项工作: 获得物料在流体中运动过程的位移、速度、加速度曲线; 计算达到临界速度的时间; 计算临界速度。

[参 考 文 献]

[1] 赵学笃, 陈元生, 张守勤. 农业物料学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1987. 76~80

[2] 北京农机学院农机教研室. 农业物料学(下)[M]. 北京: 讲义, 1983. 45~48

[3] 晨曦工作室, 苏晓生. MATLAB5.3 实例教程[M]. 北京: 中国电力出版社, 2000. 167~263

[4] 周乃如, 朱凤德. 气力输送原理与设计计算[M]. 郑州: 河南科技出版社, 1981. 115~120

[5] 黄 标. 气力输送[M]. 上海: 上海科技出版社, 1984. 40~44

[6] 周晓扬. 球形物体的自由悬浮速度精确求解[J]. 专用汽车, 1995, (4): 3~6

[7] 吕子剑, 曹文仲, 刘 今等. 不同粒径固体颗粒的悬浮速度计算及测试[J]. 化工工程, 1997, (5): 32~46

[8] 吴 宁, 张 琪, 曲占庆. 固体颗粒在液体中沉降速度的计算方法述评[J]. 石油钻采工艺, 2000, (2): 51~56

Simulation of the Critical Velocity Dynamical Characteristics of Spherical Grain of Agricultural Material

Wang Zenan, Zhang Peng

(College of Biology & Food Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract Under the integrated environment of SMULNK, the simulation of the movement process of spherical grain of agricultural material in liquid is operated with the basic principle of critical velocity dynamical characteristics. The simulation model may accomplish three objects including that it may obtain the curves of displacement, velocity and acceleration while material grain is moving in liquid, calculate the value of critical velocity and display the time that it is right to reach that value.

Key words: agricultural material; critical velocity; simulation; SMULNK