

安全技术及工程

# 基于 MATLAB 的筛分车间内煤尘运动轨迹模拟

黄 优, 王洪波, 王 坤, 辛程鹏

(毕节学院 采矿工程系, 贵州 毕节 551700)

**摘 要:** 为了掌握选煤厂筛分车间内煤尘的运动及扩散分布规律, 在对煤尘颗粒在特定条件下的运动轨迹建立运动轨迹方程的基础上, 借助于计算机软件 MATLAB 的计算及模拟仿真功能, 通过编写程序分别对粒径为 1, 10 和 100  $\mu\text{m}$  的煤尘运动轨迹进行计算及模拟仿真, 得出了这 3 种粒径煤尘运动轨迹规律的可视化图形, 模拟图形较好地体现了煤尘运动的轨迹及扩散分布的变化趋势: 粒径越小的煤尘颗粒随气流上下波动的范围和弧度就越大; 当粒径为 1  $\mu\text{m}$  时, 煤尘可以完全随气流飘扬脉动, 随着颗粒直径的增大, 脉动运动受重力的作用而衰减, 当煤尘粒径为 100  $\mu\text{m}$  时, 煤尘基本上随气流脉动很小, 在重力的作用下将慢慢沉降。

**关键词:** MATLAB; 运动轨迹; 数值模拟; 可视化

**中图分类号:** TD714

**文献标志码:** A

**文章编号:** 0253-2336 (2010) 10-0045-03

## Simulation of Dust Movement Traces in Screening Workshop Based on MATLAB

HUANG You, WANG Hong-bo, WANG Kun, XIN Cheng-peng

(Department of Mining Engineering, Bijie University, Bijie 551700, China)

**Abstract:** In order to understand the movement and diffusion distribution law of the coal dust in the screening workshop of the coal preparation plant, based on the movement trace equation established with the movement traces of the coal dust particles under certain conditions, with the calculation and simulation functions of the computer software MATLAB, the programming was applied to calculate and similarly simulate the coal dust moving traces with particles of 1, 10 and 100  $\mu\text{m}$  individually. The visualized figures of the three particle diameter coal dust moving trace law were obtained and the simulated figures could be well to show the coal dust moving trace and the diffusion distribution variation tendency. With the diameter of the coal dust particles getting smaller, the scope and radian of the airflow up and down fluctuating would be getting larger. When the particle diameter was 1  $\mu\text{m}$ , the coal dust would be pulsated fully with the airflow fluctuating. With the particle diameter increased, the pulsation movement under the role of the gravity force would be reduced. When the coal dust particle diameter was 100  $\mu\text{m}$ , the coal dust would be basically low with the airflow pulsating and would be slowly settled down under the role of the gravity force.

**Key words:** MATLAB; movement trace; numerical simulation; visualization

## 1 概 述

采用连续生产方式进行生产的选煤厂在各个生产环节都会不同程度地产生煤尘。其中煤尘危害最为严重的要属筛分车间, 例如, 准能公司黑岱沟选煤厂是处理能力为 2 000 万 t/a 的大型选煤厂, 由于除尘系统处理能力满足不了要求, 其筛分车间煤尘污染严重, 空气中浮尘质量浓度为 200 ~ 2 660  $\text{mg}/\text{m}^3$ , 仅筛分车间地面落尘达到 4 t/d 左右<sup>[1]</sup>,

严重超出国家规定<sup>[2]</sup>的标准 (22  $\text{mg}/\text{m}^3$ )。筛分车间内煤尘的润湿速度为 0.5 ~ 2.5 mm/min, 属于憎水性煤尘<sup>[3]</sup>, 且煤尘中含有  $\text{SiO}_2$  等有害物质, 筛分车间内煤尘的粒径分布比较广泛, 粒径范围大致可分为 <1  $\mu\text{m}$ , 1 ~ 100  $\mu\text{m}$  和 >100  $\mu\text{m}$ , 其中粒径在 0.2  $\mu\text{m}$  以下的煤尘约占 66%, 属于呼吸性煤尘, 它能进入人体的细支气管到达肺泡, 这种呼吸性煤尘大量弥散在车间内不仅会给安全生产带来重大隐患, 还可能引起进行性、弥散性的纤维细胞和胶原纤维增加为主的肺间质纤维化, 从而发生尘肺

病<sup>[4]</sup>。煤尘在空间内的运动扩散状态是很难用文字或数字语言来形象描述的,因此,弄清煤尘的运动规律,对有效除尘至关重要。因此,该研究采用 MATLAB 对煤尘的运动轨迹进行模拟,并以图像的方式输出,可以使煤尘的运动扩散过程更直观地被人们所了解,这对解决煤尘污染严重场所的煤尘防治问题具有十分重要的意义。

## 2 筛分车间内煤尘运动轨迹模拟仿真

利用数值方法求解流体问题,需要遵循数值模拟方法的求解步骤。对于 MATLAB 而言,其求解过程大致为:建立模型、创建网格、选择解的基本方程、定义边界条件、模型初始化、编写求解程序或调用函数、迭代求解、检查、保存结果并处理。

### 2.1 煤尘颗粒运动轨迹模型的建立

通过对煤尘在气流中受力情况进行分析和讨论可以得知在各种不同煤尘颗粒条件下,虚假质量力、压力梯度力和 Saffman 力的数量级很小,它们对筛分车间内煤尘的运动轨迹影响不大,研究时一般可以忽略不计。旋转升力主要起平衡重力的作用。在湍流运动中,颗粒不仅受到黏性阻力和虚假质量力的作用,还受 Basset 力的作用,当煤尘颗粒在受湍流脉动性作用的同时,若加上 Basset 力的作用,就会使煤尘颗粒获得较大的能量而运动扩散开来,因此,在湍流中的煤尘, Basset 力是对其运动轨迹影响较大的一个力<sup>[5-6]</sup>。气流曳引阻力是作用在颗粒上最大的力。因此,筛分车间煤尘颗粒运动轨迹可用下述方程表示<sup>[7-8]</sup>。

1) 在  $x$  轴(水平)方向上。

$$\frac{1}{6}\pi d_p^3 \rho_p \frac{du_p}{dt} = 3\pi\mu_g d_p f(u_g - u_p)$$

2) 在  $y$  轴(垂直)方向上。

$$\frac{1}{6}\pi d_p^3 \rho_p \frac{dw_p}{dt} = 3\pi\mu_g d_p f(w_g - w_p) -$$

$$\frac{1}{6}\pi d_p^3 \rho_p g + \frac{1}{8}\pi \rho_g d_p^3 (u_g - u_p) \omega +$$

$$1.61(\mu_g \rho_g)^{\frac{1}{2}} d_p^2 (u_g - u_p) \left(\frac{du_g}{dy}\right)^{\frac{1}{2}}$$

式中  $d_p$ ——煤尘粒径, m;

$\rho_p$ ——煤尘密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$u_g, u_p$ ——气体和颗粒在  $x$  轴方向上的分速度,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$t$ ——煤尘颗粒运动时间, s;

$\mu_g$ ——气体动力黏度,  $\text{Pa} \cdot \text{s}$ ;

$\rho_g$ ——流场中的气体密度,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$f$ ——黏性阻力,  $f = C_D \pi d_p^2 \rho_g v^2 / 8$ , 其中  $C_D$  为黏性阻力系数,  $C_D = 24 / Re$  ( $Re$  为雷诺数),  $v$  为颗粒与气体的相对运动速度,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$w_g, w_p$ ——气体和颗粒在  $y$  轴方向上的分速度,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$g$ ——重力加速度,  $\text{m}/\text{s}^2$ ;

$\omega$ ——颗粒旋转速度,  $\text{m}/\text{s}$ ;

$du_g/dy$ ——流场中气流在  $y$  轴上的速度梯度。

### 2.2 MATLAB 划分网格

采用命令 `initmesh`、`refinemesh` 或点击命令按钮进行网格的划分和修整,针对三维运动的问题,该研究产生的网格为三面体网格,主要是因为三面体网格的适应能力较强。根据实际情况,设置网格间距为 5 m,自动生成网格。

### 2.3 设置边界条件和初始条件

1) 正确设置边界条件,对准确反映流动对象至关重要。根据研究情况设置如下:①气体相和颗粒相间均无相对滑移,满足滑移条件:  $u'_g = u'_p = v'_g = v'_p = 0$ ;  $u'_p, v'_p, u'_g, v'_g$  分别表示边界处煤尘颗粒和气体在  $x$  和  $y$  轴方向的速度。②设定时间  $t_0$  和  $t_n$ ,  $t_0$  和  $t_n$  分别为模拟初始和结束时间,  $t_0 = 0$ ;  $t_n = 15 \text{ min}$ 。

2) 根据筛分车间内煤尘的实际情况进行初始条件设置。设定气流为定常流,给出时间  $t_0 = 0$  处各参数的值:①气流的平均速度约为 20  $\text{m}/\text{s}$ ;②煤尘密度为 2 600  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;③煤粉颗粒直径分别为 1, 10 和 100  $\mu\text{m}$ ;④煤尘质量浓度 300  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;⑤气流在  $y$  方向上的速度梯度  $du_g/dy = 10 \text{ s}^{-1}$ 。

### 2.4 求解计算

建立一个颗粒运动、扩散软件包,颗粒运动、扩散软件包主要包括煤尘颗粒运动轨迹模型和扩散模型的建立、软件包程序设计、建立工具箱等。其中自定义编写的相关函数主要有: `chargedmodel`, `unchargedmodel`, `Cparameter` 和 `fparameter` 等。

软件包结构包括煤尘颗粒相关数据、模拟模型参数、模拟模型及计算和可视化等。将煤尘的上述初始参数代入筛分车间煤尘颗粒运动轨迹方程,然后调用编写好的程序,执行计算,最后调用 MAT-

LAB 的内部绘图函数绘出图形, 实现计算结果可

视化 (煤尘颗粒的运动轨迹) 如图 1 所示。

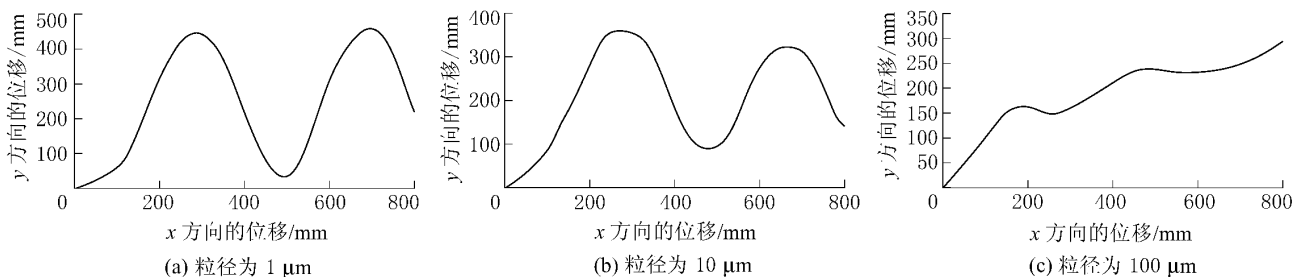


图 1 煤尘颗粒的运动轨迹

颗粒运动轨迹方程可通过编写 MATLAB 的 Ode45 语句程序来求解, 最后用 MATLAB 的 plot 功能使运行结果可视化。

### 2.5 计算和结果输出

MATLAB 自带的后处理功能, 可用于输出可视化的模拟结果。矢量显示功能可用于输出各种矢量的空间分布, 如相对速度分布等。轨迹跟踪显示可用于给出气体运动轨迹的跟踪结果。本文主要采用二维图形 (图 1) 来进行结果分析。此外, MATLAB 还提供了文字报告功能, 可用于精确输出空间某个坐标位置的各物理量的数值, 以便于进行分析研究<sup>[9]</sup>。

## 3 模拟结果分析

由图 1 可见, 在各种不同的粒径条件下, 煤尘的运动轨迹也不同。粒径越小的煤尘颗粒随气流上下波动的范围和弧度就越大。当粒径为  $1\ \mu\text{m}$  时, 煤尘可以完全随气流飘扬脉动, 随着颗粒直径的增大, 脉动运动受重力的作用而衰减, 当颗粒直径为  $100\ \mu\text{m}$  时, 颗粒随气流脉动很小, 在重力的作用下将缓慢沉降。

数值模拟得到 3 种粒径煤尘颗粒的运动轨迹 (图 1) 都能很好地反映实际状况。所存在的误差都在允许的范围之内, 这表明了该研究所用的煤尘运动轨迹数学模型具有较强的代表性和实用性, 并且该研究选用的计算机软件 MATLAB 进行轨迹模拟能够较好地模拟小空间内煤尘的运动轨迹。

## 4 结 语

利用 MATLAB 在数值计算和仿真方面的技术优势, 对煤尘的运动轨迹进行了虚拟现实的仿真, 得出了煤尘运动轨迹规律的可视化图形。图形能够

较好地体现出煤尘运动轨迹及扩散分布的变化趋势, 这将使对煤尘的治理变得更有据可依, 但由于煤尘的运动轨迹复杂多变, 扩散方式也多种多样, 并且其运动轨迹受到诸多因素的影响 (如引力作用、边界条件和空间限制等), 在煤尘实际扩散过程中, 煤尘的运动及扩散是个十分复杂的问题, 该研究仅从最基本的煤尘运动轨迹方程入手, 对其进行可视化研究, 所得结果与实际情况存在一定的差距, 其他复杂情况的模型及其可视化技术有待进一步的研究。

### 参考文献:

- [1] 马云东, 郭昭华, 赵二夫. 选煤厂粉尘产出机理及综合治理方案研究 [J]. 辽宁工程技术大学学报: 自然科学版, 2002, 21 (4): 507-510.
- [2] GB/TJ36—1979, 工业企业设计卫生标准 [S].
- [3] 向晓东. 现代除尘理论与技术 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2004: 24-25.
- [4] 杨新乐. 选煤厂水雾除尘系统的研究 [D]. 阜新: 辽宁工程技术大学, 2004: 1-2.
- [5] 丛晓春, 张 旭. 开放性尘源粉尘运动轨迹的数值计算 [J]. 同济大学学报, 2005, 33 (3): 330-333.
- [6] 岑可法, 樊建人. 煤粉颗粒在气流中的受力分析及其运动轨迹研究 [J]. 浙江大学学报, 1987, 21 (6): 1-11.
- [7] 黄 优. 选煤厂筛分车间除尘机理研究 [D]. 贵阳: 贵州大学, 2009: 36-43.
- [8] 黄 优, 桂祥友, 孟絮屹, 等. 筛分车间内粉尘颗粒在气流中的受力分析及其运动轨迹的研究 [J]. 煤炭工程, 2008 (8): 88-90.
- [9] 王沫然. MATLAB 与科学计算 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2005: 1-10.

作者简介: 黄 优 (1983-), 女, 贵州黎平人, 硕士, 现在贵州省毕节学院采矿工程系从事矿山安全方面的教学与科研工作。  
Tel: 15885199072, E-mail: huangyou2007wang@126.com

收稿日期: 2010-06-18; 责任编辑: 王晓珍