

## 【兵器与装备】

## 基于 Fluent 的挥发性可燃气体浓度场仿真\*

石铁忠, 罗兴柏, 张建礼

(军械工程学院, 石家庄 050003)

**摘要:**对弹药在修理与销毁技术作业过程中挥发的易燃易爆气体(以乙醇为例)在工间内的浓度场进行分析. 利用 Gambit 对工间及挥发源建立实体模型, 并用 Fluent 对室内浓度场进行仿真.

**关键词:**浓度场仿真; Gambit; Fluent

**中图分类号:** O35-10

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-0707(2008)03-0040-02

在弹药修理与销毁的过程中, 弹体的外表面处理用到油漆、溶剂等挥发性物质, 挥发出的易燃易爆气体在工作间内达到一定浓度后, 一旦遇到点燃源, 便会发生燃烧和爆炸. 气体爆炸受其浓度的制约, 在爆炸上、下限浓度之间, 气体才会发生爆炸. 因此, 在工作时, 一定要注意工间内气体的浓度, 以防爆炸事故发生.

在进行网格划分<sup>[2]</sup>时一定要进行严格的计算, 并保证最小网格体积必须大于0. 由于工间尺寸单位为米, 划分网格太小迭代时耗费很长时间, 因此在设置计算区域尺寸时, 将工间尺寸单位设为厘米, 这样既有利于迭代收敛, 又能节约迭代时间.

## 1 假设条件

本研究主要研究气体在室内有限空间发生的常规扩散, 当可燃气体在室内扩散到一定时间时, 其扩散流场达到稳定, 则扩散空间某一点的浓度应是恒定的, 不随时间发生变化. 气体扩散过程比较复杂, 受诸多方面影响, 为使计算方便, 特假设: ① 简化药筒模型为圆柱状, 药筒曲面为扩散源; ② 不考虑待处理药筒更换时间(相对气体挥发时间很短); ③ 忽略室内人员、障碍物对气体扩散的影响; ④ 气体扩散过程中, 温度不发生变化, 因此药筒表面挥发气体速度为常量; ⑤ 空气对挥发气体的浮升力忽略不计, 只考虑气体扩散.

## 2 建立模型

在弹药修理与销毁过程中, 乙醇经常作为溶剂出现, 其挥发性强, 易于点燃, 因此本研究以乙醇挥发为例, 建立弹药作业工间实体模型, 对室内浓度场仿真计算.

### 2.1 建立物理模型

利用 Gambit 建立物理模型<sup>[1]</sup>, 如图1所示, 工间结构尺寸为  $5\text{ m} \times 4\text{ m} \times 4\text{ m}$ , 入口尺寸为  $1\text{ m} \times 2\text{ m}$ , 中心坐标为  $(0.5, 0, -2)$ , 出口尺寸为  $1.5\text{ m} \times 2.5\text{ m}$ , 中心坐标为  $(0, -0.75, 2)$ , 药筒高  $0.8\text{ m}$ , 半径  $0.14\text{ m}$ , 其中心坐标为  $(0.5, -0.8, -0.5)$ .

### 2.2 网格相关操作

网格划分直接影响着计算速度和结果的收敛性, 因此

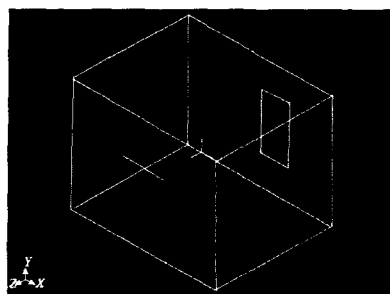


图1 工间物理模型

### 2.3 数学模型选择

对于所有的流动, Fluent 都是解质量和动量守恒方程. Fluent 默认流体为层流流动, 用户可根据需要选择层流或湍流模型. 对于包括热传导或可压性的流动, 需要解能量守恒的附加方程. 对于包括组分混合和反应的流动, 需要解组分守恒方程或者使用 PDF 模型来解混合分数的守恒方程及方差.

本文研究的是乙醇的挥发气体在室内空气的扩散情况, 风速很小, 挥发过程中室内温度保持不变, 所以需要指定质量、动量和能量守恒方程, 以及组分输运方程<sup>[3]</sup>, 在指定组分输运模型时选择相应的物质混合物, 并在定义流体的物理性质时设置扩散系数等参数.

质量守恒方程又称连续性方程:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

该方程是质量守恒方程的一般形式, 它适用于可压流动和不可压流动. 源项  $S_m$  可以是任何的自定义源项.

\* 收稿日期: 2008-03-10

作者简介: 石铁忠(1982—), 男, 硕士研究生, 主要从事报废弹药处理与安全研究.

在惯性(非加速)坐标系中  $i$  方向上的动量守恒方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + \rho g_i + F_i \quad (2)$$

其中:  $p$  是静压;  $\tau_{ij}$  是应力张量;  $g_i$  和  $F_i$  分别为  $i$  方向上的重力体积力和外部体积力.  $F_i$  包含了其他的模型相关源项,如多孔介质和自定义源项.

Fluent 所解的能量方程为:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + u_j(\tau_{ij})_{eff}\right) + S_h \quad (3)$$

其中:  $k_{eff}$  是有效热传导系数;  $J_j$  是组分  $j$  的扩散流量. 上面方程右边的前 3 项分别描述了热传导、组分扩散和黏性耗散带来的能量输运.  $S_h$  包括了化学反应热及其他用户定义的体积热源项.

物质输运方程:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \vec{Y}_i) = -\nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (4)$$

其中:  $R_i$  是化学反应的净产生速率;  $S_i$  为离散相及用户定义的源项导致的额外产生速率. 选择物质输运方程时, Fluent 通过第  $i$  种物质的对流扩散方程预估每种物质的质量分数  $Y_i$ . 在系统中出现  $N$  种物质时,需要解  $N-1$  个这种形式的方程. 由于质量分数的和必须为 1,第  $N$  种物质的分数通过 1 减去  $N-1$  个已解得的质量分数得到. 为了使数值误差最小,第  $N$  种物质必须选择质量分数最大的物质,比如氧化物是空气时的  $N_2$ .

#### 2.4 边界条件设置

弹药工间内一般风速很低,设置入口处风速为 0.01 m/s,只有空气,药筒设置为源项<sup>[4]</sup>,不断向室内挥发气体,速率为  $1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot \text{s}$ .

#### 2.5 求解方法控制

边界条件设定好以后,就可以为所需要的数学模型设定具体的求解方式. Fluent 给出了 3 种压力与速度的耦合方式,为提高计算精度,本研究采用 SIMPLEC 算法<sup>[5]</sup>,计算通量采用二阶迎风格式. 系统初始化后,就要进行迭代. 迭代收敛与否,直接影响着计算结果的准确性. 在迭代 254 步时,结果符合 Fluent 的默认收敛标准,残差如图 2 所示.

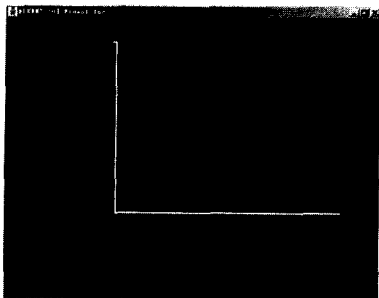


图 2 残差

### 3 仿真结果分析

#### 3.1 仿真结果

乙醇挥发后在室内的体积分数以主视图( $XOY$ 面)呈

现,如图 3 所示.

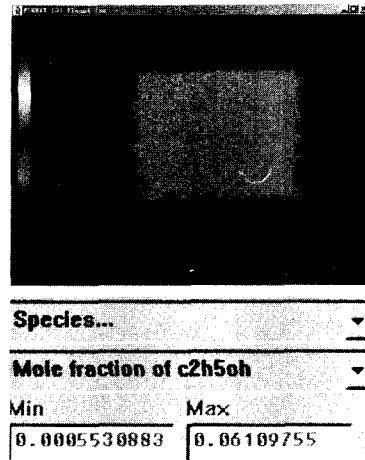


图 3  $C_2H_5OH$  的摩尔分数

#### 3.2 确定危险区域

本研究的目的在于计算易燃易爆气体在工作间内是否达到爆炸浓度. 乙醇爆炸极限浓度是 3.5% ~ 18.0%, 工间内的浓度已经超过爆炸下限,有爆炸的可能性. 将爆炸极限浓度代入计算范围内,危险区域就在图中体现出来,如图 4 所示.

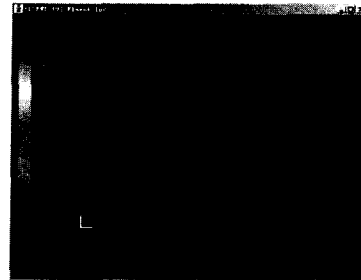


图 4 危险区域

### 4 结束语

本研究利用 Fluent 软件可以准确的计算出易燃易爆气体在工间内达到的浓度,一旦能够达到气体爆炸下限,必须对工间电气进行防爆设计,并且及时通风,降低气体浓度,防止爆炸发生.

#### 参考文献:

- [1] 闫小康,王利军. Fluent 软件在通风工程中的应用[J]. 煤矿机械, 2005(11): 153-155.
- [2] 王瑞金,张凯,王刚. Fluent 技术基础与应用实例[M]. 北京:清华大学出版社, 2007: 50-91.
- [3] 杜荣光,齐冰,郭惠惠. Fluent 软件在大气污染扩散中的应用[J]. 气象水文海洋仪器, 2007(1): 14-18.
- [4] 杨毅峰,樊建春,张来斌. 基于 Fluent 的气罐泄露仿真计算[J]. 石油化工安全环保技术, 2007, 23(1): 18-23.
- [5] 徐雅娟,罗挺. Fluent 用于大气污染扩散的数值模拟[J]. 后勤工程学院学报, 2005(2): 23-27.