

程序使用指南

1. 控制方程与离散格式

VOSET 方法^[1]通过求解了 VOF 函数的推进方程来跟踪相界面，并采用 Piecewise Linear Interface Calculation (PLIC)重构和推进相界面。

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \vec{u} \cdot \nabla C = 0$$

每一个时层根据 VOF 函数用几何方法生成一个对应的 level-set 函数。同时求解连续性方程和动量方程。

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

$$\rho \frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \rho (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} = -\nabla p + \nabla \cdot \eta (\nabla \vec{u} + \nabla \vec{u}^T) + \rho \vec{g} + \sigma \kappa \nabla H$$

动量方程中的瞬态项采用一阶全隐格式，扩散项采用中心差分，对流项采用 MUSCL 格式，表面张力采用了连续体积力(CSF)模型。 H 为光顺化的 Heaviside 函数，用于计算动量方程中的物性和表面张力。界面曲率用 level-set 函数计算：

$$H(\phi) = \begin{cases} 0 & (\phi < -\varepsilon) \\ \frac{1}{2} \left[1 + \frac{\phi}{\varepsilon} + \frac{1}{\pi} \sin\left(\frac{\pi\phi}{\varepsilon}\right) \right] & (|\phi| \leq \varepsilon) \\ 1 & (\phi > \varepsilon) \end{cases}$$

$$\rho = H\rho_l + (1-H)\rho_g$$

$$\eta = H\eta_l + (1-H)\eta_g$$

$$\kappa = \nabla \cdot \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|}$$

速度和压力用 IDEAL 全隐算法^[2]求解。

2. 文件名与变量名

程序包含七个源文件，文件名称及功能简介如表 1，主要物理量对应程序中的变量名如表 2。

表 1 源文件名称及功能

名称	功能
ideal.for	求解流场的 IDEAL 算法 ^[2]
main.for	主程序
Modules.for	主要变量的定义
supply.for	辅助功能，包含网格坐标计算，输入输出文件，代数方程的求解等
tools.for	设置计算参数：物性，初始条件，边界条件等
user.for	用户定义文件
VOSET.for	捕捉相界面的 VOSET 算法 ^[1]

几个算例的 user 文件放在了 users 文件夹中，目前的算例包括：

- (1) 单个气泡的上升；
- (2) 两个同轴气泡的上升与融合；
- (3) 水平壁面上的静止液滴在接触角的驱动下的变形；

表 2 主要物理量对应的变量名

物理量	流体体积函数	Level-set 函数	x 方向速度	y 方向速度	压力
字母表示	C	ϕ	u	v	p
变量名	C1F	DS	U	V	P

3. 计算区域及其离散

本程序采用了均匀的交叉网格离散计算区域，速度节点位于网格界面，其他量的节点位于网格中心。图 1 中左图的粗实线表示计算区域的边界，各物理量在计算区域的边界之外都有半个网格长度的延伸。表 3 列出了各个物理量对应的二维数组的存储范围，这里的“其他物理量”包括压力，流体体积函数，符号距离函数等。

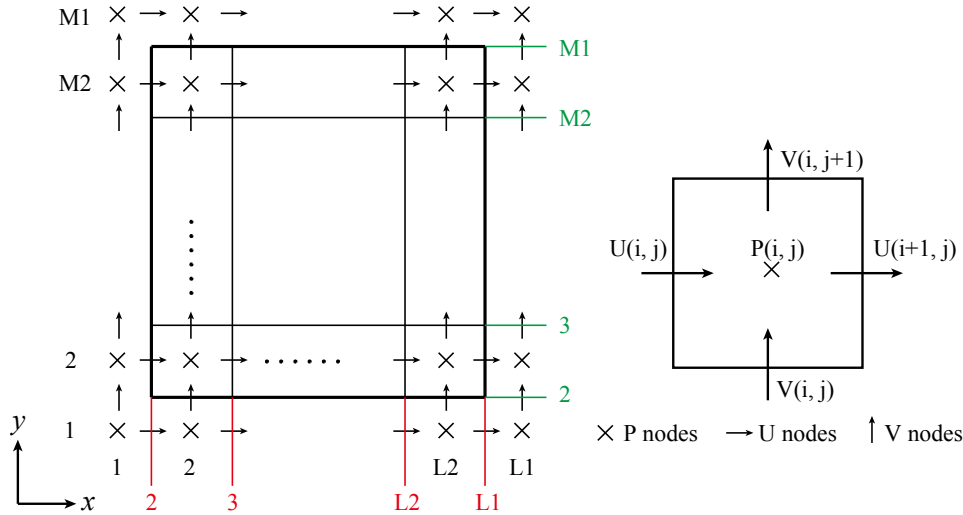


图 1 计算区域及其离散

表 3 各物理量的存储指标范围

	U	V	其他物理量
x 方向	2~L1	1~L1	1~L1
y 方向	1~M1	2~M1	1~M1

图 1 中的右图表示的是一个网格上的速度与其他变量的二维数组的两个存储指标(i 和 j) 的对应关系。

4. 使用方法

- 4.1 程序应该在支持 Fortran 90 格式的编译器中运行，推荐使用 Visual Studio + Intel Fortran。
- 4.2 程序的输出文件用后处理软件 Tecplot 打开。
- 4.3 用程序计算新的问题只需要根据具体的问题修改 user.for 文件，这包括设置计算区域大小和网格划分，初始条件，边界条件和时间步长。具体的设置方法详见 user.for 中的注释。
- 4.4. Modules.for 文件中定义了 NI,NJ 两个常量，这是所有被定义的二维数组的大小。在 user.for 中会设置 MX,MY 两个变量，分别是 x 和 y 方向的网格数。在计算前要检查这四个量，保证 $NI \geq MX+1$, $NJ \geq MY+1$ 。

如果您在使用程序的过程中遇到了其他问题，请与程序的上传人联系：

凌空 博士生 lingkong.cfd@stu.xjtu.edu.cn

参考文献:

- [1] Sun DL, Tao WQ, A coupled volume-of-fluid and level set (VOSET) method for computing incompressible two-phase flows, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2010, vol.53,

[2] Sun DL, Qu ZG, He YL, Tao WQ, An efficient segregated algorithm for incompressible fluid flow and heat transfer problems-IDEAL(Inner Doubly Iterative Efficient Algorithm for Linked Equations) part I--Mathematical formulation and solution procedure, *Numerical Heat Transfer, Part B*,2008,vol.53,1–17

[3] Sun DL, Xu JL, Ding P, Tao WQ, Implementation of the Ideal Algorithm on Unsteady Two-Phase Flows and Application Examples, *Numerical Heat Transfer, Part B*,2013, vol.63, 204–221

程序修改记录

2015/06/10:

- 1. 采用 Module 的方法管理变量；
- 2. 删除原程序中未被用到的变量；
- 3. 逻辑运算符由原程序中 Fortran77 格式更改为 Fortran90 的格式

原来的符号	.GT.	.LT.	.GE.	.LE.	.EQ.	.NE.
更新为	>	<	>=	<=	==	/=

因此程序只能在新版本的编译器中运行（例如 Visual Studio 中的 Intel Fortran）。

- 4. 简化 user.for 程序，只留下必须由 user 设定的部分；
- 5. 在 tool.for 程序中增加 Circle 子过程，以便于在初始化中添加圆形气泡/液滴。

2015/06/17

- 1. 增加流体体积函数的边界条件，以适应带有主相流体流入流出的计算区域的开口流动；
- 2. 增加 level-set 函数的边界条件，用其设置接触角；