

紊流数值模拟中的图形动态显示*

DYNAMIC DISPLAYING AND GRAPHIC TRACING IN NUMERIC MOLDING OF TURBULENCE FLOW

刘兰芳

(青岛海洋大学计算中心 266003)

关键词 紊动水流,数值计算,动态显示,图形跟踪

目前,紊流数值模拟程序几乎都是 FORTRAN 语言编写的,由于用此语言编写图形处理程序的能力较弱,所以现今绝大部分数值计算均是先计算出结果,然后将其输入图形处理软件,再进行显示和输出,这样一来,周期长且效率往往不高。这是因为数值计算的成果很多,仅凭某种法则难以判断计算是否成功,有时看似成功的计算,当进行图形处理后,发现计算成果与实际不符。其原因可能是程序中的某个地方有误,或者法则本身有误。这种有误的程序有时也能得出收敛的结果,但其结果显然与实际相差较远,以致编程者不得不重新检查程序和重新计算。对于大型程序需要连续计算很长时间,等到发现结果有误时,已经造成很大浪费。因此,在程序中增加计算过程中的动态图形处理及其显示,跟踪计算结果,及时发现程序中的问题并加以纠正,无疑会避免很多浪费,提高计算效率。

本文以明渠紊流二维数值计算为例,说明实现动

态图形显示的方法及 FORTRAN 编译系统中相关功能的开发利用。

1 基本方程及求解

对二维定常情况(深度平均的代数应力模型),其通用方程为:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\rho H \bar{U} \varphi) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho H \bar{V} \varphi) = \frac{\partial}{\partial x}(H \Gamma_x \frac{\partial \varphi}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(H \Gamma_y \frac{\partial \varphi}{\partial y}) + S_\varphi \quad (1)$$

式中, φ 为通用变量,如 φ 取流速 U, V ,紊动能 k ,耗散能 ε ; Γ_{xx}, Γ_{yy} 分别是 x, y 方向的通用扩散系数; S_φ 为源项。

利用有限容积法,将通用微分方程在某一元体

* 甘肃省自然科学基金资助项目 ZR97-094 号。

收稿日期:2000-01-19;修回日期:2000-04-20

内进行积分,并以 $d\Omega$ 表示单元上的微体积,且假定单元中 φ 均匀,则有:

$$\int \left[\nabla \cdot (H \nabla \varphi) - \nabla \cdot (H \nabla \varphi) \right] d\Omega = \int \omega S_{\varphi} d\Omega \quad (1)$$

$$\int \omega S_{\varphi} d\Omega = (S_U + S_P \varphi) \Delta x \Delta y \quad (2)$$

式中, Ω 为单元体体积 $\Delta x \Delta y$ 。

(2) 式中的第 (2) 项根据有限容积法的基本原则进行负坡线性化处理,以保证数值解的稳定性,即:

$$\int \omega S_{\varphi} d\Omega = (S_U + S_P \varphi) \Delta x \Delta y \quad (3)$$

式中, S_P 应小于等于 0; 对标量场 ($\bar{K}, \bar{\epsilon}$) 而言, 应使 S_U 的值恒大于等于 0。

利用上格式和幂函数格式可得出离散方程。

$$A_P \varphi_P - \sum_i A_i \varphi_i + (C_e - C_w + C_n - C_s) \varphi = S_U \Delta x \Delta y \quad (4)$$

式中, $A_P = A_e + A_w + A_n + A_s - S_P \Delta x \Delta y$

(4) 式中的 $C_e - C_w + C_n - C_s$ 正是连续方程的差分式, 应为 0, 因此 (4) 式变为:

$$A_P \varphi_P = \sum_i A_i \varphi_i + S_U \Delta x \Delta y, (i = e, w, n, s)$$

解之, 可求出通量 φ 值。

2 图形处理及动态显示

利用 FORTRAN 语言编译系统中的诸子例程序, 可实现计算过程中的图形动态显示。如以 DBOS/486 Version 3.0 编译系统为例, 动态图形显示语句可编写成下列形式: CC * * * * * BEGIN DYNAMIC DISPLAYING AND GRAPHIC TRACING IN * * * * *

```
CALL GETKEYI @(IEK)
IF (IEK.EQ.27) THEN CALL VGA@
CALL DRAWTEXT@(STRING, IH, IV, ICOL)
CALL DRAWLINE@(X, Y, X+PH, Y+PH, ICOL)
CALL WAIT
CALL TEXTMODE@
END IF
SUBROUTINE WAIT
CHARACTER* 80 STRING
INTEGER* 22 FONT
REAL* 4 SIZE, ITALIC, ROTATION
STRING=' Press any key to CONTINUE... '
FONT=1 SIZE=1.2
```

```
ITALIC=0 ROTATION=0
CALL SETTEXTATTRIBUTE@(FONT, SIZE, ROTATION, ITALIC)
CALL DRAWTEXT@(STRING, 360, 470, ICOL)
CALL GETKEY@(K)
RETURN
END
CC * * * * * END DYNAMIC DISPLAYING AND GRAPHIC TRACING IN * * * * *
```

上述程序中 ICOL 是颜色号, 取 0~15; IEK=27 为 Esc 键; * * * * * @ 为 DBOS/486 Version 3.0 编译系统中的子例程序, 可直接调用。

执行过程是: →数值计算 (TEXT 码) →按 Esc 键进入 VGA 图形码并清屏 →标示字符 STRING →画图并图形显示 →等待且标记 ' Press any key to CONTINUE...' →按键返回 TEXT 码 →继续计算。

3 应用实例

利用平面突然扩大计算区域, 笔者计算并随时成功地显示了流速、紊动能 k 及耗散能 ϵ 分布, 如图 1 所示。其中计算区域长 $L=13.5$ m, 宽度 $B=4.5$ m; $H_b=0.10$ m, 两岸障碍物宽 $b=B/4$, 行近水流流速 U_m 为 2.0 m/s。

入口条件是: $\bar{U} = U_{in}, \bar{V} = 0, \bar{K} = 0.00375 \bar{U}^2,$
 $\bar{\epsilon} = K^{1/2}/0.4 H_0$

壁面上, $\bar{U} = 0, \bar{V} = 0, \bar{K} = 0, \bar{\epsilon} = 0$

按 Esc 键, 屏幕出现:

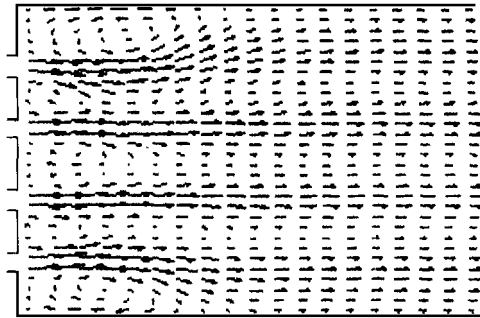


图1 流速分布

4 结语

本文利用 FORTRAN 语言编译系统中的诸子例程序, 实现了紊流数值计算过程中的图形动态显示, 增强了计算成果的可视性, 为进一步实现天然水流的计算机仿真打下了初步基础。

(本文编辑:张培新)