

全国第一届计算流体力学学术会议

论文汇编

第一分册

四川·峨眉

一九八二年六月

前 言

中国力学学会和中国空气动力学研究会于1982年6月20日至6月25日在四川峨边召开了全国第一届计算流体力学学术会议。参加会议的代表151名，列席代表19名，来自64个单位。会议交流的内容为流体力学中的计算方法，高速无粘流、边界层、大型流场计算，波浪、空泡出入水及水工建筑物中流体力学问题计算，非定常流动、冲击波、爆炸及爆轰等气体波动计算，海河大气的流动计算，磁流体力学、生物流体力学及其它工程中的流体力学计算。会议共收到论文143篇，宣读了109篇，分无粘空气动力学、粘性空气动力学和水动力学3个组进行交流。本汇编刊登了会议分组交流的97篇文章。另外，大会邀请了7位专家作了综合性学术报告，评述了计算流体力学几个重要领域的发展概况和发展方向。这些报告将由学会的有关刊物发表。

本汇编的目录基本是按分组交流的顺序安排的，有些报告份数较少，所以安排在汇编的末尾。

汇编的收集出版工作将到中国气动研究与发展中心六所的大力帮助，在此一并致谢。

全国第一届计算流体力学学术会议筹各组

1982年6月

目 录

第 一 分 册

1	非合行一欧氏坐标的流体弹塑性动力学方程的并行计算.....	谢铁柱 李荫涛
2	非定常轴向射流的数值计算.....	范中波 龚静芳
3	数值模拟马赫反射.....	曹亦明 张德良
4	金属中斜冲击波反射问题的计算.....	李维新 陈诗笠 张不亭
5	二维爆炸波的传播.....	徐华生
6	跳点有限体积法及其在跨音速流场计算中的应用.....	刘松龄 吴超云
7	计算叶轮机跨音流动的流线曲率法.....	王平治
8	跨音叶栅气动弹性稳定性的数值分析.....	林保真 唐智明 周 盛
9	关于跨音叶栅物面边界条件的数值试验.....	张耀科 沈孟育
0	一种削弱跨音叶栅流场中激波强度的数值方法.....	林保真 蒋浩兴 周 盛
1	平面跨音速叶栅的正、反混合问题.....	沈孟育 马远乐
2	关于跨音流求解的Denton、Mac Cormack、FLIC及 FE算法综述.....	龚增锦
3	计算跨音速三维机翼非定常载荷的核函数法.....	伍贻兆
4	计算任意二元物体亚音速位流的流函数法.....	鲍国华
5	战术弹纵横向气动力系数计算方法.....	朱国林 黄昌有
6	翼身组合体的地面效应.....	张宝琴 俞守勤
1 7	超音速翼大攻角非线性气动特性及其载荷分布的涡格 计算方法.....	伍开元
1 8	用于梯形后掠翼非定常气动计算的平行四边形 涡格法的机理研究.....	任 兵
1 9	跨音速定常小扰动方程的型变分裂法.....	罗世凤

第 二 分 册

- 20 跨音速非定常无粘小扰动翼型绕流的一种隐式因式分解法..... 张建柏
- 21 二元定常跨音速流有限差分计算中的初场问题..... 陈铁民
- 22 跨音速小扰动势流有限元分析..... 凌鹤 邬
- 23 机翼跨音速无粘绕流数值计算..... 姚福如
- 24 用全位势方程计算绕 20° 锥柱体的跨音速流动..... 韩光维
- 25 采用物面方向导数的有限差分计算..... 王蝶茜 罗时钧
- 26 入射激波与飞行器头部激波干扰流场计算方法..... 李松波 张广文
- 27 进气道跨音速轴对称流的计算..... 罗时钧 邢宗文 纪名刚 赵觉良 沈慧俐 董松野 韩爱清
- 28 三维薄翼非对称绕流的跨音速积分方程及其有限元解法..... 束时 杨生
- 29 跨音速翼型设计..... 杨新铁
- 30 有侧滑角的非对称体超音速无粘流场数值计算方法..... 张鲁民 郭智权
- 31 亚、跨音速翼型设计..... 景思^音
- 32 边界层分离流数值解..... 卞荫贵 徐大鹏
- 33 非平衡尾迹数值计算..... 王福汉 李东风 牛家玉
- 34 无限翼展后掠机翼端流边界层的旋涡粘性各向异性分层计算法..... 甘建成 陆士嘉教授 朱自强付教授
- 35 带粘性的超音速轴对称进气道流场计算..... 郭允龙 张世英 何中伟
- 36 三维 Navier-Stokes 方程加罚变形式有限元解的分块迭代法及其应用..... 刘之行 李开泰

- 37 三维不可压缩 Navier-Stokes 问题的共轭梯度算法及数值
试验.....李 笃 李开泰
- 38 非凸拟线性方程间断始值问题的数值解.....吴雄华
- 39 用任意三角形网格的“格子中的流体”方法计算二维流体力学
不定常问题.....李荫藩 曹亦明
- 40 激光打靶问题的磁流体数值计算.....杜应炎 苏秀敏
张永慧 沈隆钧 赖东显 于 仁 罗平庆 解汉明
- 41 用拟线性化算法和共轭算法解磁流体动力润滑问题.....
.....郭本铁 应玉燕 陈帮国
- 42 同轴射流初始段湍流混合过程的数值分析.....章光华 伍 超
- 43 用时间相关法解凹陷外形粘性流场的几个问题.....
.....高树椿 顾钢民

第 三 分 册

- 4 4 轴对称球钝锥层流、湍流粘性激波层方程数值解.....
.....李 潜 林保真
- 4 5 粘性不可压缩流体定常流动的差分解法.....叶敬棠
- 4 6 用隐—显法解超音速紊流流过凹角的分离流动.....蒋大椿
- 4 7 ISOMS—计算粘性流场的一种隐式差分格式.....
.....杨明亮 鄢华漠
- 4 8 超声速、高超声速粘性气体分离流动的显—隐式差分解法.....
.....张涵信 陆林生 余泽楚 马占奎
- 4 9 超声速二维湍流分离流动的数值解法.....
.....余泽楚 陆林生 马占奎 张涵信
- 5 0 三维层流分离流动的数值解法.....
.....陆林生 马占奎 余泽楚 张涵信
- 5 1 Navier-Stokes 方程非均匀加速收敛数值解.....曾广存
- 5 2 三元Navier-Stokes 方程的数值计算—激波与附面层的干
扰.....马延文 程心一
- 5 3 用守恒型差分格式计算底部分离流场.....董常维
- 5 4 轴对称不可压层流粘性管流的数值计算.....郭应均
- 5 5 涡量流函数二维空穴环流计算.....任安禄 苏中地 黄荣国
- 5 6 N-S 方程数值计算: 绕圆球的粘流运动.....杜棣荣 陈国楠
- 5 7 二维层流转捩湍流附面层方程数值解.....刘占清 潘梅林
- 5 8 一个边界差分格式在定常轴对称喷管流动计算中的应用.....

		黄兰洁
59	带隔板的高速旋转圆筒内流场的数值研究.....	
		付瑞峰 鹿大汉 时爱民
60	高速旋转气体离心机流场的数值模拟.....	
		时爱民 黄东涛 付瑞峰
61	广义Burger's方程差分格式的数值试验.....	徐学荣 季仲贞
62	解平面和圆管Poiseuille流线性稳定性问题的有限差分法.....	
		赵耕夫
63	压力输水管一维非定常流动的特征线计算方法.....	全玲琴
64	河床变形特征线解计算机法及计算成果分析.....	王良辰
65	对流—扩散洪水波模型及其计算.....	黄宽渊
66	有限单元法解三元自由表面孔口水流.....	丁道杨
67	带有闸门的溢流问题的数值模拟.....	忻孝康 梁 芬
68	用有限元法计算厂房顶挑射水流问题.....	
		许协庆 张 庄 周雪漪
69	重力场中二维空腔流动的有限元分析.....	林炳尧 许协庆
70	丹江口水利枢纽深孔溢流坝面压力分布的有限元计算.....	吴爱生
71	变换函数交替方向解非线性边界自由流动.....	高西玲 郑帮民

第 四 分 册

- 7 2 三元不定常水翼的动力计算.....肖袁根 秦其平
- 7 3 用下潜的高阶分布函数单元计算绕任意三维体的势流.....
.....周树信 沈 华
- 7 4 势流计算马·卡门问题的探讨.....许维德 曹锦山
- 7 5 回转体垂直出水的一维非线性计算方法.....王同庆
- 7 6 回转体—螺旋桨组合体之推力减额的一个数值预测方法.....
.....袁家乐 周连第
- 7 7 船舶波阻的研究.....黄福华 陈耀松
- 7 8 裂缝油田非牛顿液不稳定径向流计算.....栾志安 林平一
- 7 9 裂隙径向非均质油层非定常渗流的计算方法.....
.....吴玉树 葛家瑛
- 8 0 酸液在地层裂缝中物化渗流数值计算.....赵碧华 任书泉
- 8 1 钱塘江涌潮的一维数学模型.....赵雪华
- 8 2 考虑滩地输水的潮汐水流计算方法.....韩曾萃 程杭平
- 8 3 二维溃坝波计算.....陈跃松 庄业高 凌国平
- 8 4 溃坝波数值计算方法.....谢任之 马新贤
- 8 5 渠道温差异重流有限层带数值模拟.....章本照
- 8 6 水力学中电子计算机方法.....郑帮民
- 8 7 闸下自由出流的数值计算.....陈耀松 彭岳林
- 8 8 叶轮机轴子午流场的有限元解法.....王献章
- 8 9 在欧拉坐标系中流体力学问题的自由面计算.....于志鲁
徐国荣 廖振民 袁仙春 周淑荣 邹景辰 耿沪男
- 9 0 径流式叶轮机 S₁ 流面半反命题、A 型杂交命题变分原理族及
对混流式叶轮机推广及其应用.....蔡荣泉
- 9 1 平面叶栅流面图法有限元分析及对旋成面叶栅的推广.....

-姚 征
- 9 2 低雷诺数绕圆球流动的一种新解法.....李国彦
- 9 3 磁流体力学不稳定性计算中差分方法与伽辽金法的比较.....
.....屠福林 陈乐山
- 9 4 交流电弧外回路对弧柱特性的影响.....荣 晖
- 9 5 任意曲线坐标下,流体力学及叶轮机械气动力学一些基本方程的研究.....王甲升 谷传纲
- 9 6 大气中的旋转适应过程.....
.....袁皇光 张道民 李荣凤 曾庆存
- 9 7 非线性计算不稳定性分析和试验.....
.....季仲贞

单 行 本

- 9 8 喷气襟翼地面效应气动特性研究.....郭延方
- 9 9 无限侧滑翼的三元湍流边界层计算.....朱自强 陈晏清
- 1 0 0 方形腔体内粘性流动的数值计算.....骆振欧
- 1 0 1 论振荡型对流.....〔美〕M·马克 李崇银
- 1 0 2 具有自由表面和空泡区的流体力学问题的新变分原理
族(I).....刘高联
- 1 0 3 一维间断问题的精确计算.....顾光淑 张天树

混合拉-欧氏坐标的流体 弹塑性动力学方程的并行计算

北京文献服务处 谢铁柱 李霜涛

摘要 本文提出了一个混合拉-欧氏坐标的流体弹塑性动力学方程的一个并行计算方案。

(一) 引言 众所周知,描述流体弹塑性介质的运动有拉格朗日和欧拉两种坐标系统,前者将坐标系固定于流动的质点上,它的优点是便于区分多种介质的界面,处理不同物质的状态方程和相变过程,它的缺点是介质大变形引起网格畸变,使计算不能进行;后者将坐标固定在介质流动的空间,它的优点是网格固定,便于数学处理,适用于介质大变形,它的缺点是不便于处理多种介质的界面,对不同物质的计算往往带来较大的误差。某些物理问题,例如爆炸波在弹塑性介质中的传播,介质的大变形使纯拉氏法难以进行,但又要求提供比欧拉法更为细致的结果,此时,有必要将这两种方法结合起来,即用混合的拉-欧方法,这种方法可在计算过程中视问题的需要而选择,计算网格的优点可以像普通拉格朗日方式那样和流体一同运动,也可以像欧拉方法那样固定不动,还可以任意方式运

动,它具有连续地重新分格的能力,还可以引进隐式差分,以消除积分步长受稳定性 Courant 条件的限制。在文献^[1]中,将此法用于粘性流体,本文把它推广应用于流体弹塑性介质中,引进并行计标处理,试编了拉格朗日汇编程序(785机),并对效能作了分析。

整个计标分为拉格朗日质点速度、对流项和应力应变能量计标三个部分。

(一) 拉格朗日质点速度计标

假设问题为轴对称,在拉格朗日坐标下,运动方程可写为

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{RR}}{\partial R} + \frac{\partial \sigma_{Rz}}{\partial z} + \frac{2\sigma_{Rz}}{R} + g_R \quad (1)$$

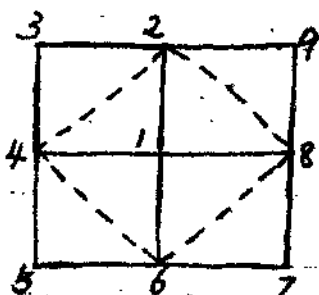
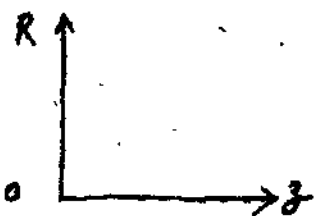
$$\rho \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_{Rz}}{\partial R} + \frac{\sigma_{Rz}}{R} + g_z \quad (2)$$

其中 u, v 分别为 R, z 方向质点速度。

ρ — 密度 P — 压力 $\sigma_{RR} = -P + \sigma_R$ $\sigma_{zz} = -P + \sigma_z$

σ_{ij} — 应力 g_R, g_z — 重力加速度在 R, z 方向分量。

设网格点如图:



我们定义 R, z, u, v 于格子顶点, 定义 P, ρ, σ_{ij} 于格心。对方程 (1), (2) 两端乘以 $dr dz$, 以顶点 1 为圆心, 取围道积分线 2468 积分之, 用 Green 公式,

可得下述差分公式

$$\begin{aligned}
 U_1^{n+\frac{1}{2}} = U_1^{n-\frac{1}{2}} &+ \frac{\Delta t}{(\rho J)_1^n} \left[(\overline{\sigma_{RR}})_{24} (Z_2 - Z_4) - (\overline{\sigma_{Rz}})_{24} \right. \\
 &(R_2 - R_4) + \left(\frac{2\overline{\sigma_R} + \overline{\sigma_z}}{R} \right)_{24} J_{124} + (\overline{\sigma_{RR}})_{46} (Z_4 - Z_6) - (\overline{\sigma_{Rz}})_{46} \\
 &(R_4 - R_6) + \left(\frac{2\overline{\sigma_R} + \overline{\sigma_z}}{R} \right)_{46} J_{146} + (\overline{\sigma_{RR}})_{68} (Z_6 - Z_8) - \\
 &(\overline{\sigma_{Rz}})_{68} (R_6 - R_8) + \left(\frac{2\overline{\sigma_R} + \overline{\sigma_z}}{R} \right)_{68} J_{168} + (\overline{\sigma_{RR}})_{82} \\
 &(Z_8 - Z_2) - (\overline{\sigma_{Rz}})_{82} (R_8 - R_2) + \left(\frac{2\overline{\sigma_R} + \overline{\sigma_z}}{R} \right)_{82} J_{182} \Big] \\
 &+ g_R \Delta t
 \end{aligned} \quad (3)$$

类似可得 $U_1^{n+\frac{1}{2}}$ 差分公式。

这里 $(\overline{\sigma_{RR}})_{24}$ 表示 $\overline{\sigma_{RR}}$ 在格子 $\frac{3}{4}\square^2$ 中心的值，余类推。其中 $(\rho J)_1 = \rho_{24} J_{124} + \rho_{46} J_{146} + \rho_{68} J_{168} + \rho_{82} J_{182}$ ， J_{ijk} 是由 i, j, k 三顶点构成的三角形的面积。

$$J_{ijk} = -\frac{1}{2} \begin{vmatrix} R_i - R_j & R_j - R_k \\ Z_i - Z_j & Z_j - Z_k \end{vmatrix} \quad (4)$$

三) 对流项的计算

从守恒型积分方程出发导出差分方程。设 τ 为三维空间的积分体元， σ 为 τ 的包面， $\vec{n}$ 为 σ 上的外法线， σ_{ij} 为应力张量， $\vec{u}$ 表示速度与力加速度， E 为总能量。

$$E = e + \frac{(\bar{u})^2}{2} \quad (5)$$

其中 e 为单位质量比内能。则由体元 τ 内质量、动量和能量守恒可建立方程，设积分体元以速度 $\bar{u}^*$ 运动

$$\frac{d}{dt} \int_{\tau} \rho d\tau + \int_{\tau} \left[\frac{\partial \rho(u - u^*)R}{R \partial R} + \frac{\partial \rho(u - u^*)}{\partial z} \right] d\tau = 0 \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \int_{\tau} \rho u d\tau + \int_{\tau} \left[\frac{\partial \rho u(u - u^*)R}{R \partial R} + \frac{\partial \rho u(u - u^*)}{\partial z} \right] d\tau \\ &= \int_{\tau} \left[\frac{\partial \sigma_{RR}}{R \partial R} + \frac{\partial \sigma_{Rz}}{\partial z} - \frac{\sigma_{\theta\theta}}{R} + \rho g_R \right] d\tau \quad (7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \int_{\tau} \rho v d\tau + \int_{\tau} \left[\frac{\partial \rho v(u - u^*)R}{R \partial R} + \frac{\partial \rho v(u - u^*)}{\partial z} \right] d\tau \\ &= \int_{\tau} \left[\frac{\partial \sigma_{Rz}}{\partial z} + \frac{\partial R \sigma_{Rz}}{R \partial R} + \rho g_z \right] d\tau \quad (8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \frac{d}{dt} \int_{\tau} \rho e d\tau + \int_{\tau} \left[\frac{\partial \rho e(u - u^*)R}{R \partial R} + \frac{\partial \rho e(u - u^*)}{\partial z} \right] d\tau \\ &= \int_{\tau} \left[\sigma_{RR} \frac{\partial u}{\partial R} + \sigma_{Rz} \frac{\partial v}{\partial z} + \sigma_{\theta\theta} \frac{u}{R} + \sigma_{Rz} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial R} \right) \right] d\tau \quad (9) \end{aligned}$$

广义虎克定律：应力应变的几何关系一般是在拉格朗日坐标下定义的，有公式 $\dot{\sigma}_i = 2\mu \dot{\epsilon}_i$ ($i=R, z, R_z$) (10)
其中圆头上一点表示对时间的导数， μ 为剪切模量。
仿前也可将它转换成以任意速度 $\bar{u}^*$ 运动的混合拉-欧氏坐标定义下的表达式。

(四) 应力、应变和能量的计算

(1) 选定 $\bar{u}^*$ 后，格顶奥的新坐标即可确定。

$$R^{n+1} = R^n + U^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \quad R^{n+\frac{1}{2}} = R^n + U^{n+\frac{1}{2}} \frac{\Delta t}{2}$$

$$Z^{n+1} = Z^n + V^{n+\frac{1}{2}} \Delta t \quad Z^{n+\frac{1}{2}} = Z^n + V^{n+\frac{1}{2}} \frac{\Delta t}{2} \quad (11)$$

(2) 方程(10)的差分式: $\sigma_i^{n+1} = \sigma_i^n + 2\mu \Delta t \dot{\epsilon}_i^{n+\frac{1}{2}} \quad i=R, \bar{z}, R\bar{z}$

其中

$$\dot{\epsilon}_R^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{3} \left(2 \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{\partial V}{\partial \bar{z}} - \frac{U}{R} \right)^{n+\frac{1}{2}}$$

$$\dot{\epsilon}_{\bar{z}}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{3} \left(2 \frac{\partial V}{\partial \bar{z}} - \frac{\partial U}{\partial R} - \frac{V}{\bar{z}} \right)^{n+\frac{1}{2}}$$

$$\dot{\epsilon}_{R\bar{z}}^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial U}{\partial \bar{z}} + \frac{\partial V}{\partial R} \right)^{n+\frac{1}{2}} \quad (12)$$

其中: $\frac{\partial U}{\partial R}, \frac{\partial V}{\partial \bar{z}}, \dots$ 可由(10)通积分列出差分公式。

(3) 计算比容 $V = \frac{1}{\rho}$

$$\text{体积 } \tau^{n+1} = \frac{1}{6} [(R_1 + R_2 + R_3)((R_1 - R_2)(Z_1 - Z_3) - (Z_1 - Z_2)(R_1 - R_3)) + (R_1 + R_3 + R_4)((R_1 - R_3)(Z_1 - Z_4) - (Z_1 - Z_3)(R_1 - R_4))]^{n+1}$$

$$V^{n+1} = \tau^{n+1} / M^{n+1} \quad (13)$$

(4) 计算比内能 e

$$e^{n+1} = e^n + p^{n+\frac{1}{2}}(V^n - V^{n+1}) + \frac{V^n}{\mu} (\sqrt{J_2^{n+1}} k^2 - k^2)$$

其中 $p^{n+\frac{1}{2}} = \frac{1}{2}(P^n + P^{n+1})$

而 $P = P(e, V) \quad \text{当 } P > P_c$

$$P = \frac{P_c}{V^n} (V^n - V^{n+1}) \quad \text{当 } P \leq P_c \quad (14)$$

这里 P_c 表示介质压力 P 随 V 线性变化的一个极限值。大值视介质处于加载或卸载过程而取不同的值。

而 $J_2 = (\sigma_R^2 + \sigma_{\bar{z}}^2 + \sigma_R \sigma_{\bar{z}} + \sigma_{R\bar{z}}^2)$ - 偏应力不变量。使用米富斯屈服条件, 当介质处于塑性状态下, 应力偏量用下式修正:

$$(\sigma_i)_{\text{修正}}^{n+1} = \sqrt{\frac{P_c^2}{J_2}} \sigma_i^{n+1} \quad i=R, \bar{z}, R\bar{z} \quad (15)$$

(5) 流量粘性

为处理击波而引进的人造粘性用以下公式, 压力粘性项取一次与二次粘性的组合

$$Q = \begin{cases} a^2 \rho_0 J \left(\frac{V}{V} \right)^2 + bc \rho_0 \sqrt{J} \left| \frac{V}{V} \right| & \text{当 } V < 0 \\ 0 & \text{当 } V \geq 0 \end{cases} \quad (16)$$

$$a \approx 2, \quad b = \frac{1}{2} \quad J \text{ 为格子面积}$$

$$c = \sqrt{\frac{dp}{d\rho} + \frac{4\mu}{3\rho_0}} \quad \text{—— 声速}$$

$$\text{应力偏量粘性} \quad Q_i = a_1 c \rho \sqrt{J} \dot{e}_i \quad i=R, \theta, R_\theta$$

$$a_1 \approx \frac{1}{2} \quad (17)$$

(五) 边界条件 考虑外加压力边界, 自由面边界和刚壁边界三种边界条件。

(六) 网格重安排 (略)

(七) 并行化处理

为发挥向量、流水线计算机的作用, 考虑并行化计算处理时, 着重解决以下几个问题

(1) 计算公式的向量化和归一化。对显式差分格式, 我们将内点公式直接重写成向量形式, 边界点的处理原则是处理成内点, 一种办法是在边界外虚设一排网格点, 虚设网格中心的物理量 (用带撇的变量表示) 与对应内格子的值有以下关系:

$$\text{对圆壁} \quad \sigma_{ii}' = \sigma_{ii} \quad e_i' = -e_i \quad i=R, \theta, R_\theta$$

$$M' = M \quad p' = p \quad e' = e \quad \sigma_{\theta\theta}' = -\sigma_{\theta\theta}$$

对自由边 $\sigma_i' = 0$ $M' = P' = e' = 0$

对外加压力边 $P' = \text{已知值}$

这种方法优点是计算公式简单统一。另一种办法是令

设格子点顶点趋近于内点，这仅在计算速度 u, v 时使

用，而 $M' = P' = e' = 0$ e_i 等于已知值。

(2) 提高功能部件特别是运标部件的并行度，其性
要是向量乘法、加法求倒数的标度搭配，以及
适当的利用向量整加、逻辑和移位操作。

(3) 连续实现几个功能部件之间的链接。

(4) 将标量运标拆入向量(成组)运标中，使标量运标
时间被向量运标所吸收。

(5) 在组织向量流水线运行时，注意一些特殊
指令的合理使用。

(6) 差分网格应尽量沿物块介面分布。选择向量格矢分
布的方向时也应尽量沿同一介面。

(7) 将计算公式适当加以改造，尽量减少和内存打交道
和逻辑、转换等指令。

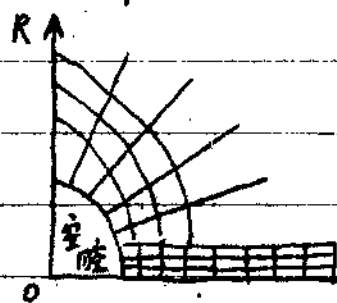
试编了纯标的汇编程序，对速度和并行度作3估
计，785机对运标速度 1.44 亿次/秒，功能部
件并行度是 3.67。

(八) 标量运标实例

作为本方案的标量运标部分，已在320机上对强
爆炸引起的坑道安全堵塞问题进行了计算⁽²⁾

其物理模型大致如下:

起爆源区以初始压力 P_0 均匀分布形成空腔, 空腔周围为固体介质, 一圆柱形坑道通向空腔并填充以与周围介质不同的堵塞物, 起爆后有一强爆炸波由空腔向周围介质传播, 计算过程就是冲击波与周围介质的作用过程。假设问题为柱对称 (以坑道中心线为轴), 计算区域分成两部分, 即沿坑道用一维流体弹塑性程序, 计算堵塞物的运动, 周围介质用轴对称的二维程序, 并将两部分偶合起来, 考虑其相互作用与影响。网络布置如下图所示。



用本方案计算了 2.2 毫秒, 空腔初始半径约一米, 初压约 4 万巴, 以正膨胀到 3.01 米, 压力降至 0.3 万巴, 介质压力降至 0.7 万巴。

从计算结果看, 方案是可行的。

就拉氏差分格式, 本方案类似 HEMP 程序, 但它是混合拉-欧氏坐标, 易于实现网络的移动与重布, 处理介质大变形。

参考文献

[1] LA-5100

[2] 混合拉-欧氏坐标差分法解二维流体弹塑性动力学方程组

李晓明 张鲁凡 1981 年全同计算力学会议资料