

# 计算机及图形技术在试验研究中的应用

梁品娟 (杭州工业汽轮机研究所)

〔摘要〕概要地介绍了计算机数据处理流程和程序的功能特点,重点论述了数据及图形技术处理主要的计算方法和计算公式,并给出计算实例。

关键词 流场研究 计算机 应用

## 1 概述

在流场试验研究中,试验数据的计算机处理和图形技术的应用有十分重要的意义。本文以压气机进汽道吹风试验数据计算机处理和等值线图绘制为例,说明计算机数据处理流程、程序的功能特点以及主要的计算方法等。该方法适用于在若干个同心圆环上测定流场参数(压力,温度,……),圆环数不超10环,每圆环上周向时的测定点不超过15点(可以扩充)。

## 2 数据处理流程及程序功能特点

数据处理流程如图1所示。

程序是用FORTRAN IV语言和绘图语言编写而成的,共计FORTRAN语句二千多条。程序构造充分运用积木块技术,整个程序由五个功能模块组成,它们是:

- 1) 流场试验测量数据及控制参数的输入功能模块。
- 2) 流场网格结点的自动划分及坐标计算,转换模块。
- 3) 网格点函数值插值计算功能模块。
- 4) 流场等值线图数据处理功能模块。
- 5) 流场等值线图拟合及绘制功能模块。

由于运用积木块分块技术,使各功能模块功能独立,界面清晰,使用方便、灵活,程序通用性强,标准化程度高,一次运行可以处理多组试验数据,使用效率较高。

收稿日期 1991-03-27 修改定稿 1991-07-15

本文联系人 梁品娟 女 48 杭州半山 310022

### 3 主要的计算方法

#### 3.1 网络结点自动划分及坐标计算、转换

在包括流场研究试验件的圆环平面在内的正/长方形中, 自动划分成 $n_1 \times n_2$ 个矩形/正方形网格结点, 然后计算出网格结点的 $(x_i, y_j)$ 坐标值, 同时把它转换成极坐标系下的 $(R_i, \theta_j)$ 坐标值, 如图2所示。

网络结点建立及划分方法是:

取 $n_1, n_2$ 为奇整数, 当 $n_1 \neq n_2$ 时, 划分成矩形网格, 当 $n_1 = n_2$ 时, 划分成正方形网格, 设图形的中心在分点 $i = (n_1 + 1)/2, j = (n_2 + 1)/2$ 上, 并以此点作为直角坐标系 $x-y$ 轴的原点和极坐标系 $r-\theta$ 的原点。

在直角坐标系中, 对于网格上的任意一个结点 $(i, j)$ , 其对应的坐标值 $(x_i, y_j)$ 计算为:

$$x_i = (i - (n_1 + 1)/2) \times R_{EX} / ((n_1 - 1)/2 + 0.001 \times R_{EX})$$

$$y_j = (j - (n_2 + 1)/2) \times R_{EX} / ((n_2 - 1)/2 + 0.001 \times R_{EX})$$

$$(i = 1, 2, 3, \dots, n_1; j = 1, 2, 3, \dots, n_2)$$

其中 $R_{EX}$ 为流场测定的最大圆环半径, 即网格矩形最大边长为 $2 \times R_{EX}$ 。

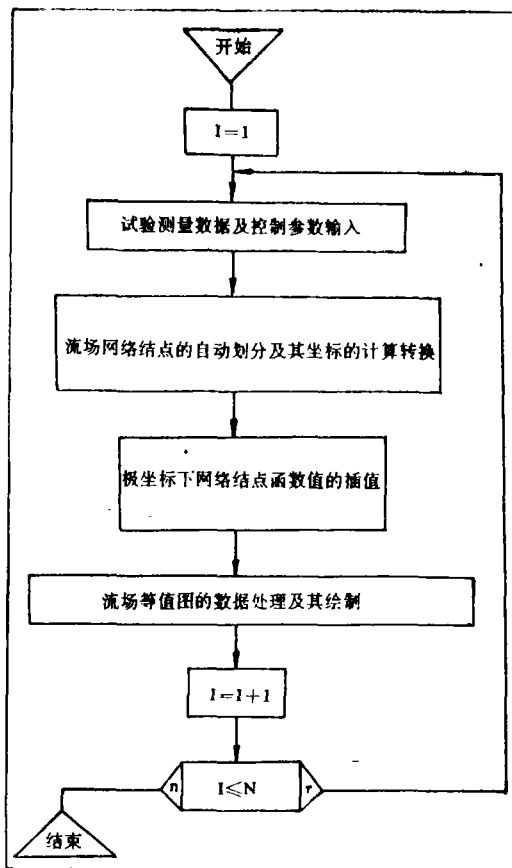


图1 数据处理流程

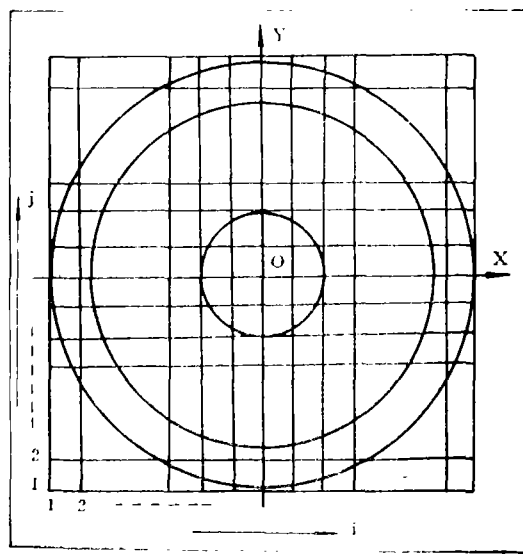


图2

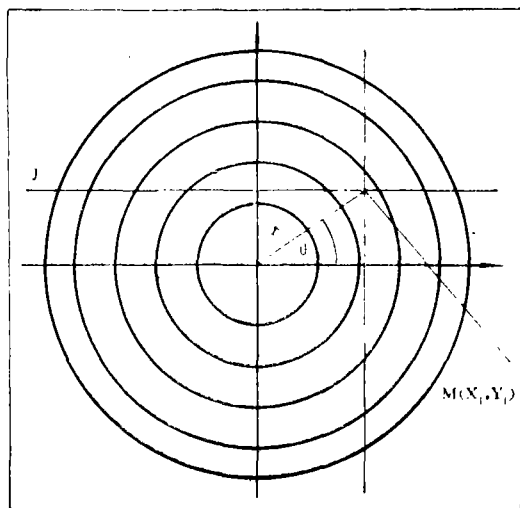


图3

如图3,假定极坐标系的原点与直角坐标系原点相重合,极轴与  $x$  轴的正半轴重合,角度方向以逆时针方向为正。直角坐标系中任意一网格结点  $M(x_i, y_j)$  其对应的极坐标转换计算为:

• 网格点的矢径  $R$ :

$$R = (x_i^2 + y_j^2)^{1/2}, \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n_1)$$

$$(j = 1, 2, 3, \dots, n_2)$$

• 网格点的极角  $\theta$ :

当  $x_i > 0, y_j > 0$  时, 即第一象限;

$$\theta = \arctan(|y_j|/|x_i|)$$

当  $x_i > 0, y_j < 0$  时, 即第四象限;

$$\theta = 2\pi - \arctan(|y_j|/|x_i|)$$

当  $x_i < 0, y_j > 0$  时, 即第二象限;

$$\theta = \pi - \arctan(|y_j|/|x_i|)$$

当  $x_i < 0, y_j < 0$  时, 即第三象限;

$$\theta = \pi + \arctan(|y_j|/|x_i|)$$

当  $x_i = 0, y_j > 0$  时, 即  $y$  轴正方向;

$$\theta = \frac{\pi}{2}$$

当  $x_i = 0, y_j < 0$  时, 即  $y$  轴负方向;

$$\theta = \frac{3}{2}\pi$$

因此对于矩形网格内任意一结点  $(x_i, y_j)$  都可以计算出一组  $(R, \theta)$  值, 把直角坐标系的网格结点转换成极坐标系的结点坐标。

### 3.2 网格结点函数的插值计算

在极坐标系中, 已知网格结点  $(R_i, \theta_j)$ ,  $(i = 1, 2, 3, \dots, N_1, j = 1, 2, 3, \dots, N_2)$ , 以及各网格结点对应函数值  $P(R_i, \theta_j)$ , 即试验测量值如压力, 温度, 应力, ...等, 可以插值计算自动划分的网格结点  $(R_k, \theta_u)$  上对应的函数值  $P = f(R_k, \theta_u)$ ,  $(k = 1, 2, 3, \dots, n_1, u = 1, 2, 3, \dots, n_2)$ 。

插值计算方法采用二元三点插值。具体分二步进行, 即一元三点周向插值和一元三点径向插值。

#### 1) 一元三点周向插值

如图4, 对于任意网格结点  $(R_k, \theta_u)$ , 由  $R_k$  作为检索键先检索极半径  $R_{N_1}$  的数据表值, 找出与插值网格点矢径  $R_k$  接近并包含  $R_k$  在内的三个相邻矢径  $R_{i-1}, R_i,$

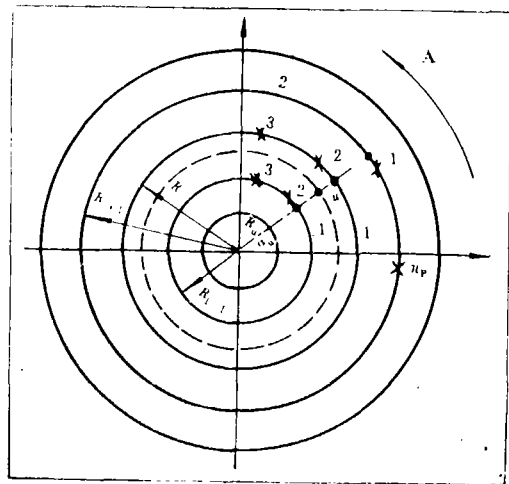


图 4

$R_{i+1}$ , 然后对每个矢径  $R$  上的极角  $\theta_u$  进行一元三点的周向插值, 计算出每个矢径上插值点极角  $\theta_u$  的插值结果。

与  $R_k$  相邻三矢径  $R$  选择原则是:

当  $R_k$  满足  $(R_{i-1} + R_i)/2 \leq R_k \leq (R_i + R_{i+1})/2$  条件时, 则选择矢径为  $R_{i-1}$ ,  $R_i$ ,  $R_{i+1}$  的相邻三环。

当  $R_k$  满足  $R_{N_1} < R_k \leq R_{EX}$  条件时, 则选择矢径为  $R_{N_1}$ ,  $R_{N_1} - 1$ ,  $R_{N_1} - 2$  的相邻三环。

当  $R_k$  满足  $R_1 > R_k \geq I_{NR}$  (试验件内径) 条件时, 则选择矢径为  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  的相邻三环。

在选择的每个矢径上, 首先根据插值点给出的极角  $\theta_u$  检索网格极角表值  $A(N_1, N_2)$ , 选择与  $\theta_u$  相邻三点的位置角  $\theta$ , 然后进行一元三点周向插值, 计算出极角为  $\theta_u$  的矢径与  $R_{i-1}$ ,  $R_i$ ,  $R_{i+1}$  三环交点的函数插值结果。

与  $\theta_u$  相邻三点位置角选择原则是:

当满足  $(A(R, i-1) + A(R, i))/2 \leq \theta_u \leq (A(R, i) + A(R, i+1))/2$  条件时, 则选择  $R$  圆环上  $\theta_{i-1}$ ,  $\theta_i$ ,  $\theta_{i+1}$  相邻的三个位置角。

对于一、四象限交界处,  $\theta_u$  相邻三个位置角的选择要作适当特殊处理, 其选择原则是: 计算

$$A_1 = (360 + A(R, n_p) + A(R, 1))/2$$

$$A_2 = (A(R, n_p) + A(R, n_p - 1))/2$$

$$A_3 = (A(R, 2) + A(R, 3))/2$$

当  $A > 360$  时, 说明  $n_p, 1$  两个测点的位置中点落在第一象限, 程序处理  $A_1 = A_1 - 360$ , 然后判断  $\theta_u \leq A_1$ ? 当  $\theta_u \leq A_1$  时, 则选取  $n_p - 1, n_p, 1$  相邻三个测点位置角。当  $A_3 > \theta_u > A_1$  时, 则选取  $n_p, 1, 2$  相邻三个测点位置角。

当  $A_1 < 360$  时, 说明  $n_p, 1$  二个测点的位置中点落在第四象限, 然后判断, 当  $\theta_u > A_1$  时, 则选取  $n_p, 1, 2$  相邻三个测点位置角。当  $A_2 < \theta_u \leq A_1$  时, 则选取  $n_p - 1, n_p, 1$  相邻三个测点的位置角。

一元三点周向插值公式:

$$P(R, \theta_u) = \frac{(\theta_u - A(R, 2))(\theta_u - A(R, 3))}{(A(R, 1) - A(R, 2))(A(R, 1) - A(R, 3))} P(R, 1) \\ + \frac{(\theta_u - A(R, 1))(\theta_u - A(R, 3))}{(A(R, 2) - A(R, 1))(A(R, 2) - A(R, 3))} P(R, 2) \\ + \frac{(\theta_u - A(R, 1))(\theta_u - A(R, 2))}{(A(R, 3) - A(R, 1))(A(R, 3) - A(R, 2))} P(R, 3)$$

2) 一元三点径向插值

由相邻三环  $R_{i-1}$ ,  $R_i$ ,  $R_{i+1}$ , 分别对极角  $\theta_u$  插值结果  $P(R, \theta_u)$  进行一元三点径向插值, 得到最终的插值结果  $P(R_k, \theta_u)$ 。

一元三点径向插值公式:

$$P(R_k, \theta_u) = \frac{(R_k - R_i)(R_k - R_{i+1})}{(R_{i-1} - R_i)(R_{i-1} - R_{i+1})} P(R_{i-1}, \theta_u)$$

$$+ \frac{(R_k - R_{i-1})(R_k - R_{i+1})}{(R_i - R_{i-1})(R_i - R_{i+1})} P(R_i, \theta_u)$$

$$+ \frac{(R_k - R_{i-1})(R_k - R_i)}{(R_{i+1} - R_{i-1})(R_{i+1} - R_i)} P(R_{i+1}, \theta_u)$$

而对于  $R > R_{EX}$  或者  $R < I_{NR}$  的网格结点，程序自动地让这些点的函数值等于零（假定流场试验测量函数值大于零，否则不能等于零），对于所有网格结点如此进行，就可求出整个网格结点的函数值，形成一个具有等距矩形网格结点的空间曲面。

### 3.3 流场等值线图的处理和绘制

在区域  $R$  布置上等距矩形网格后，流场等值线的处理，1) 计算等值线  $f(x, y) = z_u$  与等距矩形网格的每一个棱边的交点坐标。2) 光滑地连接等值线。3) 计算机/绘图机显示或绘制。

如果我们将网格的步长取得足够小，使得在网格任一小矩形棱边上，函数  $f(x, y) = z_u$  可以近似地视为一线性函数。由于空间曲面的连续性，网格的一个棱边是否与等值线相交，则取决于这个棱边两个端点的  $z$  值(函数值) 是否夹有  $z_u$ ，如图 5。  $\overline{AB}$  棱边是否与等值线  $f(x, y) = z_u$  相交的判别条件：

$$(f(A) - z_u)(f(B) - z_u) \leq 0$$

当满足该条件，则等值线  $f(x, y) = z_u$  与  $\overline{AB}$  棱边相交，求交点。否则不相交。

等值线  $f(x, y) = z_u$  与网格棱边相交的交点方程可表示：

$$\begin{cases} f(x, y) = z_u \\ x = C \end{cases}$$

或者

$$\begin{cases} f(x, y) = z_u \\ y = D \end{cases}$$

同理，可用线性插值方法近似代替交点方程求解，即：

$$\frac{f(x_B, y_B) - f(x_A, y_A)}{x_B - x_A} = \frac{z_u - f(x_A, y_A)}{x - x_A}$$

或者

$$\frac{f(x_B, y_B) - f(x_A, y_A)}{y_B - y_A} = \frac{z_u - f(x_A, y_A)}{y - y_A}$$

等值线  $f(x, y) = z_u$  与棱边  $\overline{AB}$  的交点为：

$$\begin{cases} x = x_A + \frac{z_u - f(x_A, y_A)}{f(x_B, y_B) - f(x_A, y_A)} (x_B - x_A) \\ y = y_A = y_B \end{cases}$$

或者

$$\begin{cases} x = x_A = x_B \\ y = y_A + \frac{z_u - f(x_A, y_A)}{f(x_B, y_B) - f(x_A, y_A)} (y_B - y_A) \end{cases}$$

除此以外，还要对等值线在网格内的游动及走向，等值线的起点和终点等问题进行处理。等值线图的绘制是用计算机绘图软件，采用分段三次多项式方法，把等值线  $f(x, y) = z$

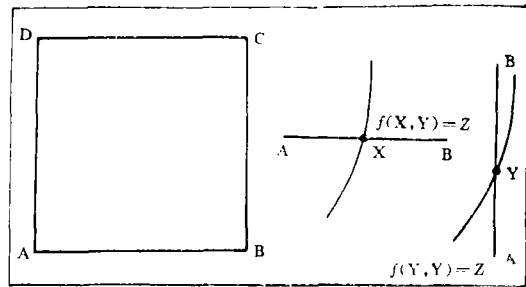


图 5

与网格棱边交点按其走向光滑地连接起来, 然后从绘图机或其他图形输出设备上输出。

### 4 实例

如图6示, 选用压气机进汽道吹风试验数据作为实例, 运用以上介绍的计算方法和计算机程序对实例数据进行处理, 绘制成等值线图。在该实例中, 试验测量数据是进气道气流的压力图。共有51个试验测量点, 分别布置在六个不同半径的圆环上, 各圆环上测点数布置是3, 6, 9, 12, 15, 共6个。

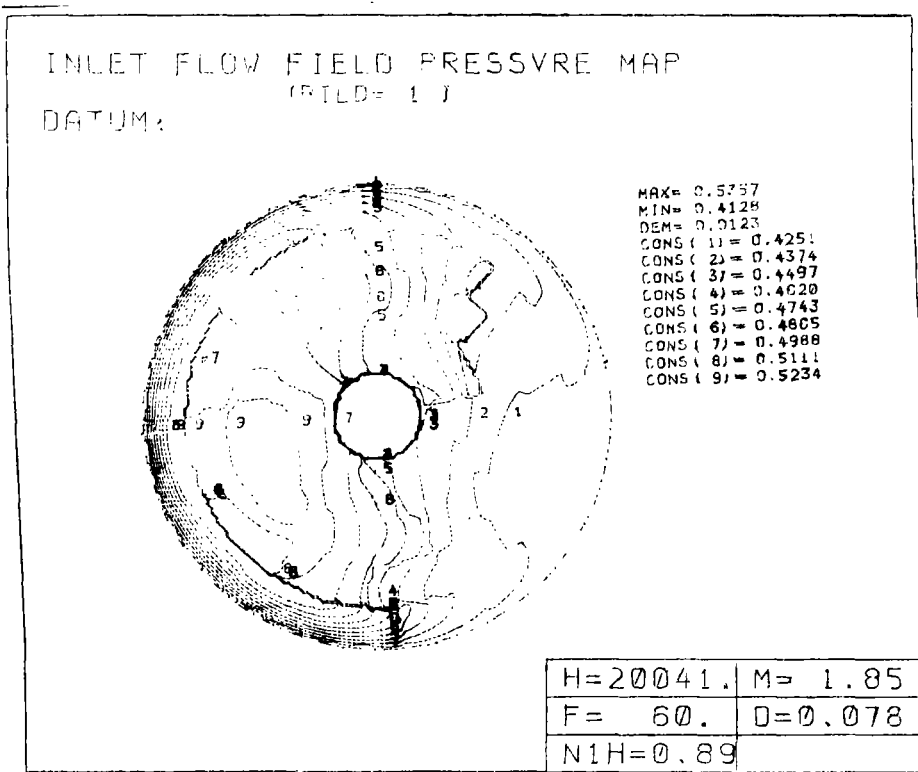


图 6

### 参 考 文 献

- 1 潘锦平编. 软件开发技术. 上海科学技术文献出版社, 1987
- 2 [西德]莫勒 H H 著. 数据结构与程序设计技术. 孙永强, 张然译. 科学出版社, 1981
- 3 西门子绘图机软件. 杭州工业汽轮机研究所计算组译. 1982
- 4 FORTRAV IV语言基础. 杭州汽轮机厂计算站. 1978

# The Application of Computers and Graphics Technology in Experimental Study

Liang Pinjuan

(Hangzhou Industrial Steam Turbine Research Institute)

## Abstract

Briefly presented in this paper are the functional characteristics of a computer data processing flow path and its programs with emphasis on the explanation of calculation method and formula for technical processing of data and graphics. Computation examples are also given in the paper.

**Key words:** flow field study, computer, application

## 简 讯

### 水冷壁强度的计算方法

据“Теплоэнергетика”1991年3月号报道,苏联已制定了一种计算锅炉膜式水冷壁强度的有限元计算方法。

众所周知,蒸汽锅炉的炉膛和烟道总是设置有全焊式水冷壁进行隔热保护。为了保证锅炉安全可靠的运行,必须计算水冷壁的强度。为此,ИКИТ (锅炉透平研究中心)制定了一种有限元计算方法。该方法基于大量有限元、利用计算机综合程序可以对于某些载荷得到全焊接构件三维的应力—变形状态。

针对各种计算情况,在该方法中考虑了下列因素:(1)任意的局部载荷、均匀的重量载荷、地震和振动的作用(2)增压(负压)、逆燃;(3)温度场沿水冷壁的不均匀性;(4)沿水冷壁厚度的温度梯度。在某些情况下,还考虑了刚性带的影响。

制定的计算机综合程序包括了各种形式的力和温度的作用,从而可以考虑全焊式锅炉构件的任何一种结构特点。程序ПК-87是现在苏联唯一除了能够确定平面应力状态以外还能解决膜式水冷壁弯曲的一种计算程序,它不仅可用于对水冷壁强度进行验算还可以用来设计锅炉装置。

## 引 进 消 息

据“Gas Turbine World”1991年3—4月号报道,法国阿尔斯通(Alstom)燃气轮机公司于1990年1月接到了中国珠海电力部门关于订购VEGA 206联合循环电站设备的合同。

该项交钥匙工程合同金额为4000万英镑,要求在1991年8月和9月之间交付燃气轮机设备。该电站最初将以简单循环工作,燃料为天然气,蒸馏油作为补充燃料。

联合循环设备还包括余热锅炉、汽轮发电机和凝汽设备,这些设备将在1992年5月交货。

阿尔斯通的VEGA 206装置把二台MS6001B燃气轮机的排气供给余热锅炉,产生的蒸汽供给功率为41 MW的汽轮发电机组。

在燃烧天然气并具有蒸发冷却塔系统的情况下,整个装置在ISO条件下的基本负荷额定功率为116MW,其热耗率为7 580 kJ/(kWh),相当于热效率为47.5%。

这是中国第三次向阿尔斯通公司订购VEGA 206联合循环电站设备。前二次订货是1986年汕头电站和1990年深圳电站提出的。

(吉桂明 供稿)