

发动机进口流场等值线极坐标绘图法

飞行试验研究中心 王占先

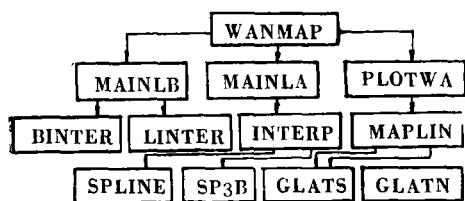


图1 程序系统的结构

整个绘图系统分三层。第一层包括 (MAINLB, MAINLA 等子程序) 的圆上或环上插值曲面计算; 第二层包括 (PLOTWA, MAPLIN 子程序) 的极坐标下矩形网格 (即扇形网格) 棱边与等值线的交点计算; 第三层把等值线与棱边的交点绘成平面上折线和光滑曲线。一、二层是平行关系, 第三层是由第二层调用。具体结构见图。

一、计算方法

本系统在插值曲面计算方面给出三种算法, 即双线性、双二次和周向样条函数径向抛物线插值, 三种算法各有优缺点, 双线性和双二次算法详见文献[1]和[2]。

双线性算法以它程序简单、计算速度快著称, 缺点是不能充分反映流场不均匀度, 对分析流场畸变不利, 精度也低, 同时在网格稀疏时画出的等值线也不够光滑 (见图2a)。

双二次插值曲面算法程序也简单、计算速度稍慢一些, 能反映流场不均匀度, 但其致命弱点是在两个周向相邻三点插值计算交接处不够光滑, 出现不应有的梯度变化 (见图2b)。这是由于两个周向相邻三点相距太远, 测量的函数值变化较大所致。有此缺点, 导致它不能在进口流场绘图中广泛应用。

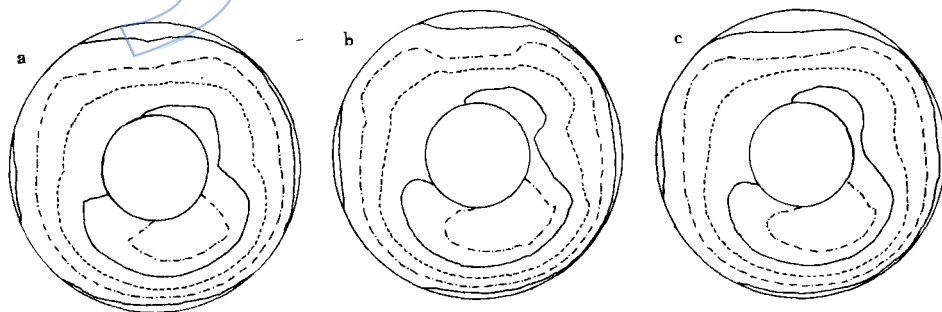


图2 用极坐标矩形网格绘出的不同插值曲面算法图形

周向样条函数径向抛物线算法是针对双二次插值曲面算法中的缺点提出的一个新算法。它利用发动机进口流场在周向的周期性, 在周向用周期性样条函数^[3,4]代替了抛物线插值, 解决了两个相邻三点插值交接处出现梯度问题。径向不变仍用抛物线插值, 以保持双二次插

值的优点,并克服其缺点,因此它是目前绘制发动机进口流场等值线比较好的插值曲面算法(图2c)。它的算法是区域内任意要计算的点,先定出它靠近哪三个测量环,利用周期性样条函数公式求出这三个环上该周向的样条函数值,再用径向抛物线公式算出所求点的函数值。

等值线与极坐标下矩形网格交点的算法 根据进口流场的特点,等值线与网格棱边交点的算法,本系统选用了极坐标下矩形网格(即直角坐标的扇形网格)与等值线交点算法,没有用通常的直角坐标的矩形网格,这个选择有如下优点:(1)能很容易解决等值线与边界的相交问题。(2)解决了直角坐标矩形网格与等值线交点算法带来的等值线拐点增加的缺点。(3)减少一次坐标变换。(4)网格的密度可以比直角坐标网格密度稀。

算法简介 众所周知等值线如与网格棱边相交,它必须满足下列关系式:

$$(f(R_A, \theta_A) - \text{CONS})(f(R_B, \theta_B) - \text{CONS}) \leq 0 \quad (1)$$

式中CONS表示等值线的函数值,坐标 (R_A, θ_A) , (R_B, θ_B) 分别表示棱边两个端点的坐标。除非该棱边与等值线有两个交点或者一个切点时,一般有交点都满足(1)式的要求。因此检查等值线与棱边是否有交点,只要检查棱边两端点函数值是否满足(1)式就行了。

等值线与网格棱边交点的求法 建立在曲面在棱边上的函数值,只是棱边的线性函数前提下计算的。当网格相当密时,曲面在棱边上的函数值可看成棱边的线性函数。在选用极坐标矩形网格下它们的棱边分别是 R 为常数或 θ 为常数。

当 R 为常数时,等值线与棱边的交点坐标 (R_C, θ_C) 为:

$$\begin{cases} R_C = R_A = R_B \\ \theta_C = \frac{(\text{CONS} - f(R_A, \theta_A))}{(f(R_B, \theta_B) - f(R_A, \theta_A))} (\theta_B - \theta_A) + \theta_A \end{cases} \quad (2)$$

当 θ 为常数时,则交点坐标 (R_C, θ_C) 为:

$$\begin{cases} R_C = \frac{(\text{CONS} - f(R_A, \theta_A))}{(f(R_B, \theta_B) - f(R_A, \theta_A))} (R_B - R_A) + R_A \\ \theta_C = \theta_A = \theta_B \end{cases} \quad (3)$$

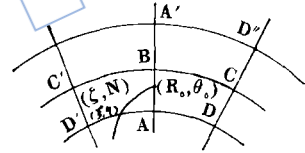


图3 等值线在网格中的游动

等值线交点求出后,其连成等值线的原则是等值线继续前进时仍保持原来切线的方向,因此连接时应先连接原来切线方向的交点,然后才是其他方向。例如:我们假定等值线进入小扇形ABCD(见图2),交AB边于 (R_0, θ_0) ,等值线的前一个交点为 (ξ, η) ,同时假定 $R_A = R_D = R_D' < R_B = R_C = R_C' < R_A' = R_D''$ 及 $\theta_C' = \theta_D' < \theta_A = \theta_B = \theta_A' < \theta_D = \theta_C = \theta_D''$,当 $(R_0 - \xi) \geq 0$, $(\theta_0 - \eta) \geq 0$ 时,等值线继续前进最大可能从BC边离去,其次才是CD边和AD边,故在程序设计上先找BC边上是否有交点,其次是CD边和AD边。当 $(\theta_0 - \eta) \geq 0$ 而 $(R_0 - \xi) < 0$ 时,等值线继续前进最大可能从AD边离去,其次是CD边BC边。对于 $(\theta_0 - \eta) < 0$ 时,也有二种情况: $(R_0 - \xi) \geq 0$ 和 $(R_0 - \xi) < 0$,它们考虑的次序分别是BC'边、C'D'边和DA'边,及DA'边、C'D'边和BC'边。如果 (R_0, θ_0) 不在AB边上而在BC边时,也有相类似的四种情况。

当 (R_0, θ_0) 为结点时,应考虑以结点为中心的“田”字形各棱边是否有交点,而且不能是老交点 (ξ, η) ,据此能把一条等值线与棱边的所有交点求出,并连成一条等值线。

等值线的起点和终点 等值线在区域内游动一般有三种情况:一是等值线从边界上某一

点开始,一直游动到边界上另一点为止,这时等值线的起点和终点都在边界上;另一种是等值线从区域内任一点开始,游动之后又回到此点,即一条闭合曲线,等值线上任何点都是起点和终点;第三种是极值曲线,它可以在区域中任一点开始,任一点终止。

为了寻找等值线的起点和终点,并把等值线所有分枝求出,需要建立一个逻辑数组,该数组存放棱边与等值线是否有交点的记录。该数组的元素不是“1”就是“0”,“1”表示棱边与等值线有交点,“0”表示没有交点。因此寻找等值线起点,就查询该数组就行了。

等值线寻找的方法 首先查询交点记录数组,如果有元素为1,就把它的交点求出作为等值线的起点,按照前面叙述的连接原则,把该条等值线的所有交点求出,然后调用 GLATN 和 GLATS 子程序分别把等值线按折线或曲线绘出。一条等值线的交点找完的标准是:(1)最后一交点坐标等于最初的交点坐标;(2)最初的起点和最终点的坐标都在边界上。找完一条等值线后,为了防止重复使用交点数组元素,将使用过的交点记录抹掉,继续查询该数组,一直找到该数组元素都为“0”止,这就把等值线所有分枝求出。

交点记录数组一般不应把所有棱边都包括进去,只选择一个方向棱边就行了,一般以选择径向棱边和边界为好。否则网格稀疏时,就会丢失等值线。

网格密度的选择,首先是要求网格相当密,以便使 $f(R, \theta)$ 在每个棱边上都能近似地看成线性函数,这是求等值线交点的理论基础。第二在曲面梯度变化较大的区域(包括极值曲线附近)也要适当加密网格,以便克服等值线的遗漏、交叉连接等不正确现象。第三在满足上述的前提下,网格密度可以适当的疏一些,目前稳态流场一般径向取21点,周向65点就足够了。

二 结 论

1. 从插值曲面算法来看,三种算法中以周向样条函数径向抛物线插值曲面算法为最好。
2. 从等值线与棱边交点算法来看,极坐标下矩形网格更适合绘制发动机进口流场等值线,此法在保证曲线光滑的前提下,网格密度可稀6~7倍,大大节省机时和经费。
3. 绘制发动机进口稳态流场网格密度以径向21点,周向65点为好。一般等值线交点连接以折为好,光滑连接要注意防止等值线相交。
4. 此程序系统是建立在BENSON一、二级软件的基础上,只把BENSON软件部分修改就可适应其他绘图系统。

参 考 文 献

- [1] Dicus, J.H., "FORTRAN PROGRAM TO GENERATE ENGINE INLET FLOW CONTOUR MAPS AND DISTORTION PARAMETERS", NASA TM-X-2967, 1974.
- [2] 王占先,“绘制发动机进口流场等压线通用程序”,1983—1984年中国航空学会学术会议论文选。
- [3] J.H.Ahlberg, E.N.Nilson, J.L.Walsh, "THE THEORY OF SPLINES AND THEIR APPLICATIONS", Academic Press, New York, 1967.
- [4] 李岳山、齐东旭,“样条函数方法”,科学出版社,1979年。

OPTIMAL CONTROL OF A MARINE GAS TURBINE PROPULSION SYSTEM

Ni Weidou and Lu Siqing

(Tsinghua University)

Abstract

A design method of "Linear Quadratic Output PI Feedback Control" is proposed in this paper. A marine gas turbine propulsion system controller has been designed by use of this method. The controller not only has the advantages of the PI controller in classical control theory, but also those of the state-variable feedback in modern control theory. The simulation of this controller gives satisfactory results.

TECHNICAL NOTES

A CONTOUR LINE PLOTTING SYSTEM WITH POLAR COORDINATES FOR AEROENGINE INLET FLOW FIELD

Wang Zhanxian

(Flight Test Research Center)

Abstract

Three interpolating surface algorithms, i.e. bilinear, biquadratic and circular spline function radial parabolic algorithms, are provided in this programming system. The last of them is considered to be the most ideal one for interpolating surface because it has high accuracy, truly expresses the distorted flow field, and overcomes the unsmoothed joints of the biquadratic algorithm. In order to determine the intersection points between contour and network, rectangular grids of polar coordinates instead of rectangular coordinates are used. In result, many advantages for engine inlet flow field plotting can thus be achieved. This programming system can save computer time and reduce costs.

IDENTIFICATION OF HIGH FREQUENCY SIGNAL UNDER LOW SAMPLING RATIO

Zhang Yisong and Yi Liyan

(Nanjing Aeronautical Institute)

Abstract

Considering that the highest resolving frequency in dynamic data is restricted by sampling ratio, a new method is proposed to identify the high frequency signal from three low-ratio sampling spectra. The complicated case of vibration measurement of