

离心压气机计算机辅助设计与制造一体化

中国科学院工程热物理研究所 刘坚风* 曹孝瑾

【摘要】 本文介绍了能完成离心压气机气动设计、数控加工制造的计算机辅助设计和制造一体化系统,特别是建立了一套适用于四坐标数控加工的设计和加工计算方法。为开发高性能新产品,缩短研制周期,提供了一套实用系统软件。本方法也可用于涡轮和轴流压气机叶片及模具等曲面的设计加工。

关键词: 压气机 CAD CAM

1 设计制造一体化系统

随市场竞争的日益激烈,及时制造出符合用户要求的新产品,缩短研制周期,对企业具有重要意义。压气机设计时要根据气动、强度、加工、结构、部件匹配等要求反复修改才能获得最终方案,计算机辅助设计与制造一体化能保证高速高质量完成设计加工要求,用四坐标数控中心加工压气机,能保证叶轮具有足够的强度、准确的叶型和良好的表面光洁度。

设计制造一体化的主要过程见图 1。(1) 根据用户要求指标,初步选择压气机的类型;(2) 对所选压气机进行热力优化计算和特性线估算;(3) 压气机造型;(4) 进行气动、热力、强度计算分析;(5) 检验是否符合要求;(6) 不满足要求时,修改形状尺寸等;(7) 加工坐标的转换计算,如:叶型坐标转换成数控加工时刀具的运行坐标;(8) 检验加工坐标是否满足要求;(9) 出加工图,并计算检验坐标;(10) 将数控加工坐标输入机床,进行加工。以上仅是大概步骤,实际应用时,造型、气动、强度、加工的设计计算是互相牵制的,需反复验证修改。

系统软件是在微机上用 FORTRAN 或 BASIC 语言编制的,其特点是:可根据用户不同的具体要求,灵活方便地修改已有程序,便于普及推广应用。

2 计算机辅助设计

本部分主要包括:热力气动优化计算、强度计算、造型设计等。通过优化计算,筛选出压气机的最佳设计方案,确定压气机耗功、效率及各部件基本结构尺寸,通流部分各特征面上的气

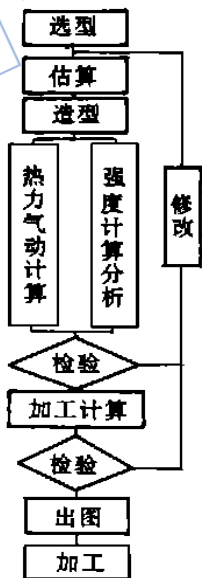


图 1 一体化流程

流参数,整机的性能等。其方法可参看有关文献。

同其它加工方式一样,数控加工时叶片型线有一定的规律。任意设计的叶片型面与立铣刀表面无法密合,产生“铣切干涉”,破坏了设计型面。我们采用的造型方法是:在两个给定截面上求出叶片中心线,加上适当的叶厚分布规律,计算出叶片表面坐标。造型后再进行气动和强度校核。叶片中线在某个截面上的通用公式为:

$$X_c^2 + BY_cY_c + CY_c + DX_c + EY_c + F = 0 \quad (1)$$

各系数可根据实际情况确定,如叶片进出口位置、叶型角等。当叶片中线用经验给出离散点时,为方便计算机使用,本系统用最小二乘法原理,将离散点拟合合成单变量非线性方程:

$$\hat{Y}_c = \sum_{i=0}^n b_i X_c^i \quad (2)$$

通常当 $n=5\sim 6$ 时,(2) 式所得 $\hat{Y}_c$ 同给定 Y_c 误差在 10^{-4}mm 之内。(2) 式也可用求解线性方程组的方法得到,这时所得 Y_c 同给定点完全一致。叶片厚度规律可由下式给出:

$$\delta = \delta_2 - (\delta_2 - \delta_1)(X_2 - X)^n/X_2^n \quad (3)$$

通常 $n=1\sim 2$ 。叶厚也可根据经验给出离散点: $\delta_i = \delta(l_i)$, $i=1, 2, \dots, m$, l_i 是某点沿中心线弧长至进口点的距离。根据中心线坐标和叶厚分布可计算出叶片表面坐标^[1]。

当叶轮上两个截面的中心线不同时,可设计出具有前倾的后弯叶轮,以改善叶轮性能。应用文献[2]可设计出能简化加工的系列化离心压气机。

3 数控铣床的加工计算

四坐标数控铣床除有三个直角坐标外,还有一转动坐标,如图 2 所示:沿轴向的 Z 坐标、

相应每个 Z 坐标的铣刀转角 θ 、偏心 K 和铣刀钻深 P 。图中 OQ 是径向线,转角 θ 是铣刀轴线 MN 与 OQ 的夹角;过轴心 O 点作轴线 MN 的垂线,垂足为 B ,偏心 K 等于 OB ,钻深 P 是铣刀球头球心 O' 点至 B 点的长度。加工叶片时,铣刀按加工坐标: $\theta = \theta(Z)$, $K = K(Z)$, $P = P(Z)$ 联动,用立铣刀侧面根据不同情况沿空间曲面连续加工,较之三坐标铣床用立铣刀顶端加工,可极大地提高生产效率和加工质量。国外因种种原因,仅给我国厂家某种叶轮的加工坐标,不给计算方法。为使我们能设计加工自己的新产品,我们研究了使用四坐标铣床加工压气机的系统软件,主要有:加工坐标、叶型参数和检测坐标计算等。

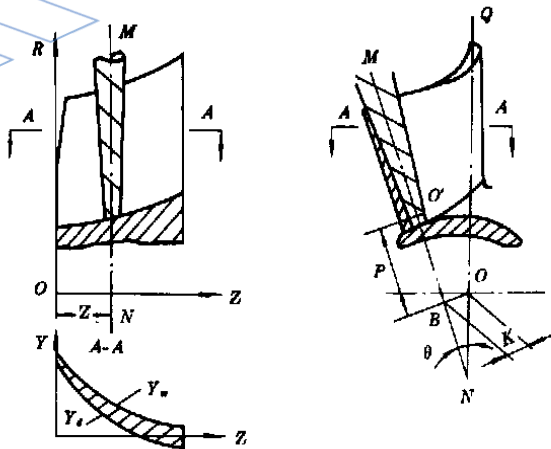


图 2 数控铣床坐标系

首先根据叶片型线,求铣刀的加工坐标 θ 、 K 、 P ;包括长短叶片的精加工、半精加工、中间流道加工和短叶片的切割加工。由于四坐标铣床只有 4 个自由度,除轴向坐标 Z 和叶轮的子午轮毂线 R_m 外,只剩两个自由度,因而只能在两个截面上给出叶片型线,这 4 个约束条件

完全决定了铣刀的运动规律,文献[1]详细推导出了各种加工坐标的方程:

$$\begin{cases} \theta_i(Z) = f_{1i}(Y_1, Y_2, R_m, Z, r_d, \alpha) \\ K_i(Z) = f_{2i}(Y_1, Y_2, R_m, Z, r_d, \alpha) \\ P_i(Z) = f_{3i}(Y_1, Y_2, R_m, Z, r_d, \alpha) \end{cases} \quad (4)$$

其中 Y_1, Y_2 是两个截面上的叶型坐标, r_d 是铣刀球头半径, α 铣刀锥角, $i=1, 2, \dots, n$, 分别表示叶背、叶腹精加工、半精加工及中间加工等不同工序时的运行坐标。

其次求任意截面上的叶型坐标 $(X, Y)^{[1]}$, 由于仅有两截面上的叶片参数是设计给定的, 其它截面的参数由加工方式确定:

$$\begin{cases} X(R, Z) = X(\theta, K, P, R, Z) \\ Y(R, Z) = Y(\theta, K, P, R, Z) \end{cases} \quad (5)$$

其中 θ, K, P 是精加工该叶片表面时的坐标, 由叶片表面坐标可计算出叶片中心线, 以及叶型角、叶片厚度、喉口面积, 供气动和强度计算校核使用。最后还需求出在给定平面上的测量坐标, 便于工厂进行叶片型面的检测。

应用本文对国外某个前倾后弯叶轮进行验算, 计算结果同给定尺寸误差小于 0.01mm。

4 结 论

本文在理论研究和工程设计的基础上, 建立了一套离心压气机计算机辅助设计和制造一体化系统, 特别是建立和完成了一整套适用于四坐标数控铣床加工的压气机造型设计、加工坐标、检测坐标计算等计算机辅助加工系统软件, 对提高生产效率和加工质量, 增强市场竞争力有重要意义。

作者使用本系统对燃气轮机和涡轮增压器的离心压气机进行了成功的设计和数控加工计算, 充分证明了本系统具有实用性、灵活性和可靠性, 为离心压气机设计制造提供了一套有效工具。

本方法也可用于涡轮和轴流压气机叶片及模具等曲面的设计加工。

参 考 文 献

- 1 刘坚风. 离心压气机设计制造一体化及其应用: [学位论文]. 中国科学院, 1990
- 2 曹孝瑾. 离心压气机系列的设计计算. 中国工程热物理学会, 86-2-67, 1986

(责任编辑 魏星禄)

INTEGRATION OF DESIGN AND MANUFACTURE OF CENTRIFUGAL COMPRESSORS

Jiu Jianfeng and Cao Xiaojin

(*Institute of Engineering Thermophysics*)

ABSTRACT

A system for integrating design and manufacture of centrifugal compressor by CAD/CAM is established which includes blade design, machining coordinates transformation, blade profiling in arbitrary section, checking coordinate calculation. Especially, a set of design and calculation methods is provided for manufacturing turbomachines by four-axis numerically controlled machining center. The integration system can be used on microcomputer. The system has been applied successfully to designing and machining centrifugal compressors in a factory. It is proven that the system is practical, flexible, reliable and it can cut down the time of design and manufacture with high quality.

FLOW DISTORTION MONITORING IN AN S-SHAPED INTAKE

Weng Peifen (*Shanghai Jiao Tong University*)

Guo Rongwei (*Nanjing Aeronautical Institute*)

ABSTRACT

A series of experiments were made in an S-shaped air intake at high incidence. The observations show that larger the incidence, the more distorted the flow field. And further, there is a certain relation between high incidence, swirling flow, total pressure field and position angle φ of the flow with the lowest total pressure coefficient C_p . The position angle φ is given as a better detective parameter which can monitor the distorted velocity and pressure field.

STUDY ON ATOMIZATION CHARACTERISTIC OF AIR ASSISTED ATOMIZER

Gu Shanjian, Huang Yong, Yang Madin, Chen Hongbo, Liang Xueping, Zhang Yingnian

(*Beijing University of Aeronautics and Astronautics*)

ABSTRACT

The atomization characteristics of a new type air assisted atomizer have been investigated for heavy oil with Engler viscosity more than 20, and compared with "Y" type atomizer commonly used in industry. A standard diffraction based sizing system (i. e. Malvern) is applied to this investigation. The results reveal the influences of the air pressure, fuel pressure, and air/fuel ratio on the atomization characteristics, the influence of the fuel pressure on the spray angle, and demonstrate the fuel atomization superiority of this new type atomizer over the "Y" type atomizer in atomization.