

拉瓦尔超音速小孔径喷嘴孔板的建模与加工

张珍明, 罗文彩, 吴慧蓉

(武汉市仪表电子学校, 湖北 武汉 430225)

摘 要:通过在 MasterCAM 中使用内嵌语言处理高次方程曲线的方法实现了拉瓦尔超音速小孔径喷嘴曲面模型的构建, 并从装夹定位方案、刀具选用和成型刀具的设计制造等方面, 探索了小孔径曲面加工精度保证的工艺装备要素。实践表明, 其方法和措施切实可行。

关键词:拉瓦尔喷管; 高次曲线; 曲面建模; 精度控制

中图分类号: TH164

文献标识码: A

文章编号: 1671-931X (2016) 01-0081-04

一、引言

拉瓦尔喷管是火箭发动机和航空发动机推力室的重要组成部分, 喷管是前半部由大变向中间收缩至一个窄喉, 之后又由小变大向外扩张的结构。这一结构可使穿过的气流速度因喷截面积的变化而变化, 使气流从亚音速到音速, 直至加速至超音速。由于这种喇叭形喷管是瑞典人拉瓦尔发明的, 因此也称为“拉瓦尔喷管”。我们承接加工的拉瓦尔超音速小孔径喷嘴孔板零件是用以研究气体流动特性的, 其喷嘴孔曲面是采用高次曲线模型表述的, 作为实验模型, 对其加工质量要求较高, 在准确建模的基础上有必要采取一定的工艺措施来保证。

二、拉瓦尔小孔径喷管的数学建模及分析

试验加工的拉瓦尔超音速小孔径喷嘴孔板结构如图 1 所示, 喷嘴孔部分充分考虑流体流动特性要求, 经过缜密的流动分析研究, 其母线采用多段高次方程形式描述, 将各段高次方程曲线 $f(x, y)=0$ 截面绕其轴线旋转即可获得每一个喷嘴孔的曲面模型。

该喷嘴孔截面母线中 $X=0\sim 5.1$ 的 a 区段方程为:

$$y=0.012\cdot\left(12.4-\frac{90}{x+7.5}\right)^4-0.13\cdot\left(12.4-\frac{90}{x+7.5}\right)^3+$$

$$0.5\cdot\left(12.4-\frac{90}{x+7.5}\right)^2-1.2\cdot\left(12.4-\frac{90}{x+7.5}\right)+3$$

$X=5.1\sim 6.2$ 的 b 区段方程为:

$$y=0.6+\left(1.04-\frac{x-5.1}{3}\right)\cdot\left(\frac{x-5.1}{1.04}\right)^2\cdot\tan 8.6+(x-$$

$$5.1)\cdot\tan 6$$

$X=6.2\sim 8.0$ 的 c 区段方程为:

$$y=-0.02\cdot(X-6.2)^4+0.13\cdot(X-6.2)^3-0.22\cdot(X-6.2)^2+0.15\cdot(X-6.2)+0.7+(X-5.1)\cdot\tan 6$$

针对这些高次曲线, 我们利用 MasterCAM 软件的附加方程曲线功能, 分段编写了几个基于 MasterCAM 内嵌的 EQN 程序文档: A.EQN, B.EQN, C.EQN, 其内容分别如表 1。

EQN 文档描述了生成曲线的类型、变量之间的函数关系、精度、边界条件等要素, Mastercam 软件读取该文档后即自动生成曲线, 其生成的曲线结果如图 2a) 所示, 将所得曲线绕 X 轴旋转即可得到图 2b) 所示的拉瓦尔小孔径喷管孔的曲面模型。

该曲面模型的准确程度取决于曲线精度, 可由曲线模式 geometry 及取点步长 step_size1 进行设置控制。曲线模式可选择 nurbs 样条曲线或 param

收稿日期: 2016-01-06

作者简介: 张珍明(1966-), 男, 湖北天门人, 武汉市仪表电子学校实训中心主任, 高级讲师, 研究方向: 数控加工工艺、CAD/CAM。

张珍明, 罗文彩, 吴慧蓉: 拉瓦尔超音速小孔径喷嘴孔板的建模与加工

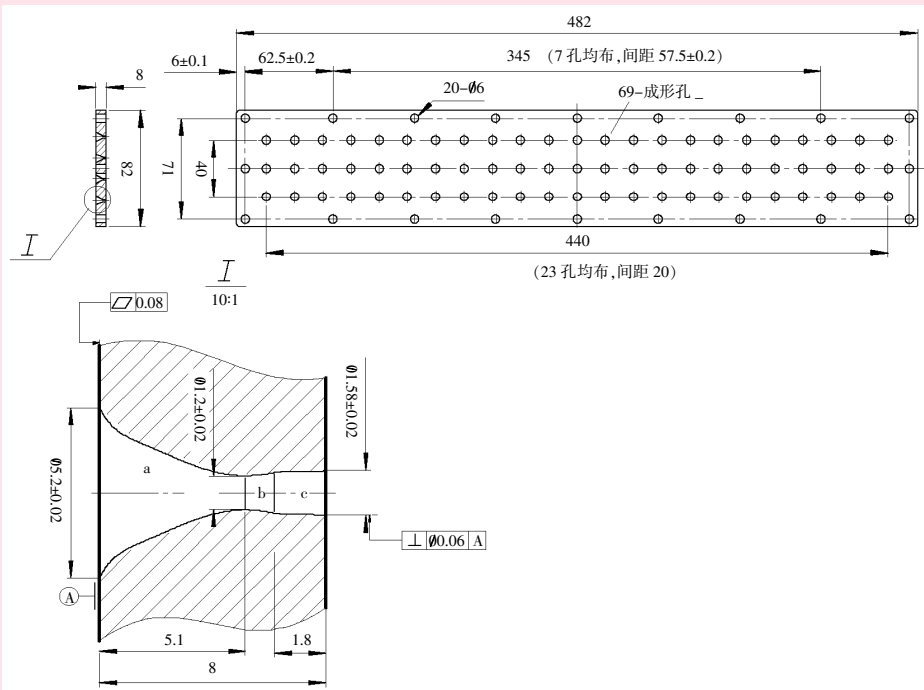


图 1 拉瓦尔超音速小孔径喷嘴孔板的图样

表 1

A.EQN 文档内容	B.EQN 文档内容	C.EQN 文档内容	行释义
step_var1 = x	step_var1 = x	step_var1 = x	自变量名称为 x
step_size1 = 0.05	step_size1 = 0.05	step_size1 = 0.05	取点步长为 0.05
lower_limit1 = 0	lower_limit1 = 5.1	lower_limit1 = 6.2	x 左边界
upper_limit1 = 5.1	upper_limit1 = 6.2	upper_limit1 = 8.0	x 右边界
geometry = spline	geometry = spline	geometry = spline	曲线模式:Spline
angles = degrees	angles = degrees	angles = degrees	角度单位:度
origin = 0,0,0	origin = 0,0,0	origin = 0,0,0	坐标原点(0,0,0)
a=12.4-90/(x+7.5)	a=x-5.1	a=x-6.2	定义中间变量 a
y=0.012*a^4-0.13*a^3 +0.5*a^2-1.2*a+3	y=0.6+(1.04-a/3)*(a/1.04)^2 *tan(8.6)+a*tan(0.6)	y=-0.02*a^4+0.13*a^3-0.22*a^2 +0.15*a+0.7+(x-5.1)*tan(0.6)	方程描述

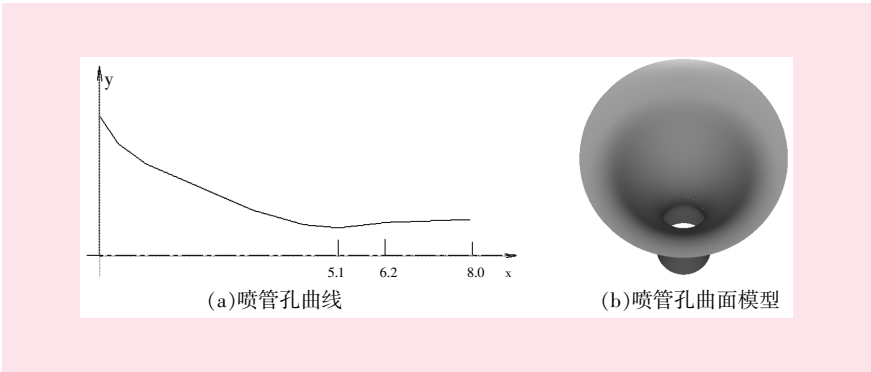


图 2 拉瓦尔超音速小孔径喷嘴的建模

curve 参数曲线,nurbs 是非均匀有理 B 样条曲线 (Non-Uniform Rational B-Splines)的简称,能够比传统的网格建模方式更好地控制物体表面的曲线度,从

而能够创建出更逼真的模型;参数曲线由参数方程表达,步长取值越小就越接近真实曲线。我们分别用 2 种不同曲线构建方法以较小步长绘制出曲线模型,制

作出样板供设计方检测。虽然设计中各段曲线已有参数方程模型作参考,考虑到所加工拉瓦尔超音速小孔径喷嘴孔的试验性质,最后确定采用 NURBS 曲线建模,更利于各段曲线间的自由顺滑连接,能较好改善参数方程对曲线光滑度带来的不良影响。

三、拉瓦尔小孔径喷嘴孔板加工的难点分析及工艺策略

(一)喷嘴孔板加工的技术难点分析

拉瓦尔超音速喷管孔属于异形回转孔,其喷嘴孔板加工的主要技术问题是:每件零件上小孔数量多,孔形呈两端开放的异形喇叭口,最小孔径处仅为 $\Phi 1.2\text{mm}$,属深孔加工范畴,且需在加工过程中翻面装夹,小孔加工所用刀具及正反面接痕是需要解决的关键问题,因此对定位精度要求很高。为保证两次加工时各孔的同轴,需要翻面后采用具有精准定位基准的专用夹具来解决安装问题。

(二)加工工艺方案设计

根据零件喷嘴孔的结构,若能在第一个面加工时将各孔钻后实施精铰处理,再在翻面后使用前端带导向的浮动刀具,应能较好地保证翻面后各孔的同轴问题。但由于能钻通的孔径较小,不利于精铰及

导正处理,为此,我们采取的工艺对策是:在加工完成小端面的曲面孔型后,随即在板上 20 个 $\Phi 6$ 的孔中选取 4 个孔实施钻铰处理,作为定位销孔;将零件取下再次安装之前,在机床的工作台面上先安装一工艺平板,在工艺平板上亦按照前面 4 个定位销孔位置钻铰 4 个定位销孔,如图 3 所示,然后通过安装 4 个定位销钉来实现喷管板的翻面安装,由此保证喷嘴孔板大端加工时其与小孔间的同轴要求。因此,拟定的加工工艺路线为:小钻头粗钻各孔→精加工小端各孔→钻铰 $\Phi 6$ 定位销孔→制作夹具→翻面装夹→粗钻大端各孔→精加工大端各孔。

(三)喷嘴孔加工用刀具处置

在刀具使用方面,鉴于零件最小孔径仅 $\Phi 1.2\text{mm}$,若采用小球刀进行曲面铣削模式的加工,既无法保证效率同时又难以获得较高的曲面加工精度。为此,我们将曲线模型分解为两部分,采用图 4 的精修刀具设计方案,利用五轴专用磨刀设备磨制出两把刀具,分别实现两面孔型的精修加工。对于小端孔口的粗加工可使用 $\Phi 1$ 的小钻头实现,大端孔口的粗加工可使用 $\Phi 5$ 的钻头并对钻尖部分做刃磨处理,通过适当控制钻深以使精修余量尽可能均匀。两端精修时必须分别严格控制进刀加工深度,确保对接准确以获得顺滑的孔型。

四、拉瓦尔小孔径喷嘴孔板的加工精度控制

喷嘴孔板的加工精度主要受三个方面的影响:1.喷管孔曲面建模的精度;2.成型刀具的磨制精度;3.翻面装夹的重复定位精度。

如前所述,建模精度的控制可通过改变曲线的拟合方式(param curve/nurbs)和取点步长精度(step_size1)来调整,结合样件加工的检查结果进行修正。试验证明:采用 nurbs 的曲线拟合方式和 step_size1=0.05 的拟合步长即可获得令设计方满意的效果。

成型刀具的磨制也是基于曲线模型的,我们是利用精密线切割加工制作曲线检验样板后,利用光学显微镜进行比对检查而确认成型刀具磨制精度的,实际刀具磨制精度控制在 $\pm 0.006\text{mm}$ 。

翻面装夹的重复定位精度是利用配制销孔后,制作一面多销的专用夹具来保证的,符合基准统一的工艺原则。鉴于工艺销孔处在原始图样中已安排有 20 个 $\Phi 6$ 的螺钉过孔,选取其中 4 个实施精铰处理并不影响使用要求,只是工艺稍复杂一点而已。若工艺平板在喷嘴孔板小端型孔加工时就一起装夹,然后一起钻铰加工出 4 个定位销孔,则能更好地保证翻面装夹后各型孔的同轴度要求。

五、结语

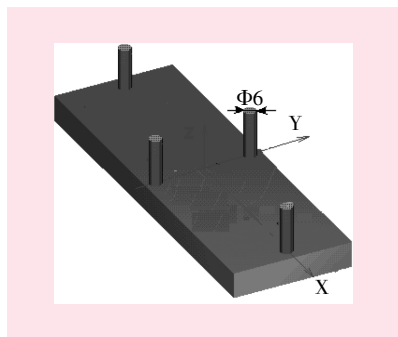
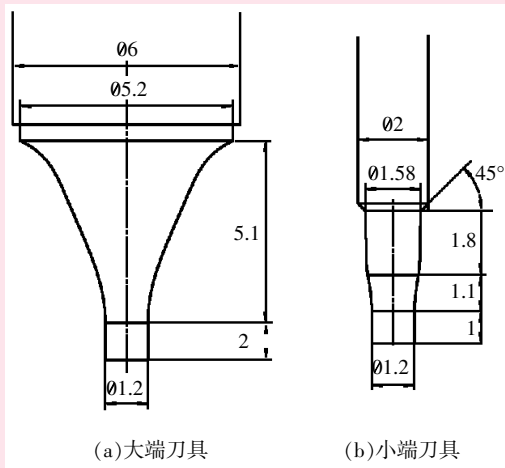


图 3 翻面装夹定位用工艺平板



(a)大端刀具

(b)小端刀具

图 4 大小端加工专用刀具

通过对上述喷嘴孔板零件的数学建模、工艺设计及实际加工的试验研究,探索了利用 CAM 软件内嵌语言编写程序对高次方程曲线进行数据预处理的方法及拟合精度控制的技术问题,对使用标准球刀和成型刀具制作小孔径喷嘴管孔曲面的切削质量和效率进行了预分析,并从装夹定位方案、刀具选用和成型刀具的设计制造,探索了精度保证的工艺装备要素,根据试验样件加工的情况来看,此工艺措施足以保证定位的精度要求,加工效果令人满意。

参考文献:

- [1] 刘建华,陈一坚,等.激光切割超音速喷嘴设计[J].激光技术,2000,24(1):46-50.
- [2] 陈海凡,温石化.MasterCAM9.1 公式曲线开发设计[J].金属加工:冷加工,2014,12(12):81-81.
- [3] 王钦等.阵列群小孔活动模板电解加工技术研究[J].机械制造与自动化,2012,41(05):47-50.

[责任编辑:詹华西]

The Modeling and Processing of Laval Supersonic Nozzle Orifice Plate with Small Aperture

ZHANG Zhen-ming LUO Wen-cai WU Hui-rong

(Wuhan Instrument and Electronic Technical School, Wuhan430205, China)

Abstract: The Laval supersonic nozzle orifice surface model with small aperture can be established through adopting embedded language to process high-order equation curve with MasterCAM. Synthetically considering fixation method, tools selection, manufacture of modeling tools and other respects, we explore the craft to keep the precision of small aperture surface in the paper. Practically, the methods and measures are feasible.

Key words: Laval Nozzle; high-order curve; surface modeling; precision controlling

(上接第 80 页)

Automobile Brake Calipers on CNC Machining Methods

REN Qun-sheng

(Hubei Vocational College of Science and Technology, Wuhan430074, China)

Abstract: Brake caliper, the main part of automobile braking system, constitutes the basic part of safety system in vehicle. The procedure of making the brake caliper is complicated. The paper concludes that a combination of several special cutting tools and related procedures can save the cost and time of cutting, guarantee the relative placement and accuracy of size, and reduce cost of mass component production to the minimum.

Key words: disc brake; caliper; combined cutting tool