

# 轮胎文字符号程序化设计

王琳<sup>1</sup>, 陈亚洲<sup>2</sup>, 付彦娟<sup>2</sup>

(1. 集美大学计算机工程学院, 福建 厦门 361021; 2. 集美大学机械与能源工程学院, 福建 厦门 361021)

**[摘要]** 针对通用 CAD 系统中没有轮胎文字符号专用设计工具、文字符号设计过程繁琐、设计效率低等问题, 研究了文字符号程序化设计方法。分析其加工特点, 提出最小工艺间距的概念, 建立最小工艺间距计算公式; 提出辅助测量圆的概念, 以帮助设计人员直观判断刀具能否通过相邻文字符号; 建立文字符号轮廓曲线特征提取算法; 建立文字符号关系特征辨别算法, 实现文字符号轮廓曲线程序化判定等操作。基于 AutoCAD2014 二次开发接口 ObjectARX, 开发相应的插件, 实现文字符号从直线到圆弧、从圆弧到圆弧之间的程序化位置调整、间距调整和间隔调整。该方法提高了文字符号设计效率和设计质量。

**[关键词]** 轮胎文字符号; 最小工艺间距; 辅助测量圆; 程序化设计

**[中图分类号]** TP 391

## Key Technology of the Programmatic Design for Tire Character Symbol

WANG Lin<sup>1</sup>, CHEN Yazhou<sup>2</sup>, FU Yanjuan<sup>2</sup>

(1. College of Computer Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China;

2. School of Mechanical and Energy Engineering, Jimei University, Xiamen 361021, China)

**Abstract:** As tire character symbol (CS) special design module in current Computer Aided System (CAD) has not been reported and a CS traditional design process is cumbersome in low design efficiency and poor design quality consistency, a programmatic design method is researched. The concept of the minimum process spacing (MPP) was proposed and a theory formula for calculating the MPP of different types of CSs was established. A concept of an auxiliary measuring circle (AMC) was proposed which can directly express whether a tool can pass through an adjacent CS or not. A contour curve feature extraction algorithm and a contour curve constitutive relationship automatic recognition algorithm were proposed to make a programmatic design possible. Based on the AutoCAD2014 API of ObjectARX, a corresponding function module was developed to make programmatic position adjustment, spacing adjustment and interval adjustment realized. It shows that the CS design efficiency and design quality can be greatly improved by employing this programmatic design method.

**Keywords:** tire character symbol; minimum process spacing; auxiliary measuring circle; programmatic design

## 0 引言

轮胎侧面包含大量的文字符号, 这些文字符号主要用于表示轮胎型号规格、轮胎旋向、轮胎适用

[收稿日期] 2019-02-23

[基金项目] 福建省科技计划重点项目 (2018H0024)

[作者简介] 王琳 (1972—), 女, 工程师, 硕士, 从事计算机辅助设计研究。

的速度等级、轮胎产地与生产日期等信息<sup>[1]</sup>。由于 CAD 系统（如 UG、Pro/E 和 AutoCAD 等）中没有轮胎文字符号专用设计工具<sup>[2-3]</sup>，因此，采用通用 CAD 系统进行文字符号设计时，存在设计过程繁琐，设计效率低和产品设计质量不完美等问题。

为提高文字符号的设计效率 and 设计质量，笔者提出基于人机交互进行文字符号程序化设计。

1 文字符号可加工性

轮胎上的文字符号一般通过轮胎模具成型，设计轮胎上的文字符号必须考虑其可加工性。轮胎上文字符号类型很多，不同类型文字符号的走刀方法、刀具选择、加工余量设置和走刀轨迹均不同。基于其加工特征，将文字符号分为单线字、实心字（内部有填充图案）和空心字（也称为边框字，内部无填充图案）3 种。其中边框字又可以进一步分为均匀线宽边框字、非均匀线宽边框字和单线边框字等，如图 1 所示。



图 1 具有不同加工特征的文字符号  
Fig.1 Character symbols of different processing features

图 2、图 3 给出了文字符号雕刻加工示意图。

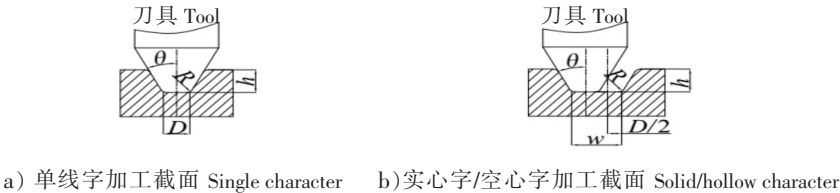


图 2 不同类型文字符号雕刻加工截面图  
Fig.2 The engraving cross-section of different type character symbol

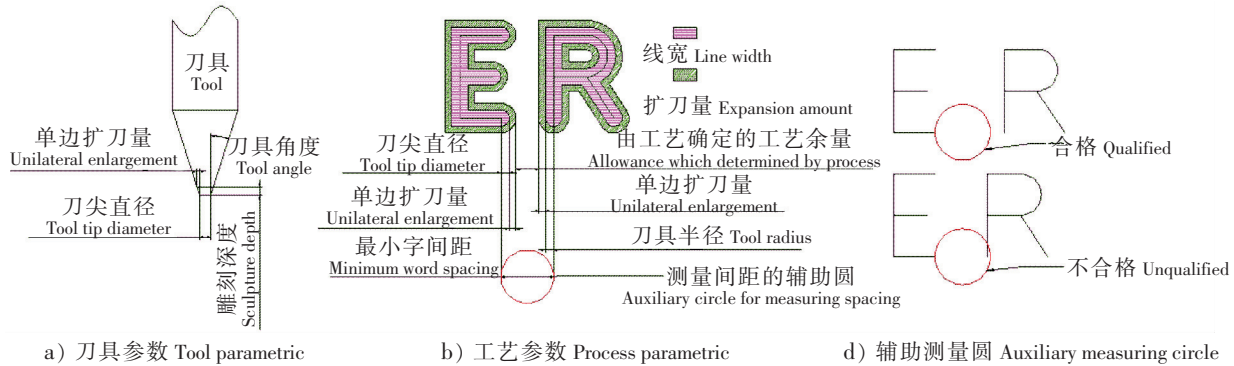


图 3 文字符号雕刻加工参数示意图  
Fig.3 The machining parameter schematic diagram of character symbol

从图 2、图 3 可以看出，影响文字符号加工的工艺参数主要包括：刀具直径  $D$ 、刀尖圆角半径  $R$ 、字深  $h$ 、线宽  $w$ 、刀具拔模角（或雕刻角度） $\theta$  以及工艺余量  $s$ 。本文为定量描述文字符号的可加工性，并能够通过程序进行工艺间距自动判定，提出了最小工艺间距  $d$  的概念， $d$  为保证文字符号不破裂、不模糊、不黏连，能被可靠加工出来的文字符号之间的最小距离。

从图 3 中可以看出，计算最小工艺间距  $d$  时，需要考虑刀具直径  $D$ 、单边扩刀量  $s'$  和工艺余量  $s$ 。单边扩刀量  $s'$  与文字雕刻深度  $h$  和刀具拔模角度  $\theta$  有关，一般单边扩刀量为  $h \tan \theta$ ，双边扩刀量

为  $2htan\theta$ 。为此, 建立最小工艺间距  $d$  的计算公式<sup>[1,4]</sup>:

$$d = s + w + 2htan\theta; \tag{1}$$

$$d = s + 2htan\theta; \tag{2}$$

$$d = s + 2w + 2htan\theta。 \tag{3}$$

计算单线字最小工艺间距采用式 (1); 计算实心字最小工艺间距采用式 (2); 空心字最小工艺间距计算视具体情况而定。空心字有 3 种走刀方式: 1) 采用线上走刀方式时, 最小工艺间距计算等同于单线字, 采用式 (1); 2) 采用线内走刀方式时, 最小工艺间距等同于实心字, 采用式 (2); 3) 采用线外走刀方式时, 最小工艺间距采用式 (3) 计算。

为便于观察, 计算出最小工艺间距后可以以工艺间距  $d$  为直径绘制一个圆 (图 3a 所示), 通过绘制的圆能直观判断文字符号之间的间距是否合理。当文字图上文字符号之间的实际间距小于最小工艺间距时, 这些文字符号不能被可靠加工出来, 需要对文字符号进行间距调整; 当文字图上的文字符号实际间距大于或等于最小工艺间距时, 这些文字符号可以被可靠加工出来, 不需要对这些文字符号进行间距调整。

## 2 文字符号程序化设计关键技术

### 2.1 文字符号轮廓曲线特征提取

为实现程序化排字, 需要提取文字符号轮廓曲线特征。轮胎上的文字符号既包括文本文字符号, 指采用 Windows 系统字体或 AutoCAD 系统字体设计的文字符号, 常用的有 True Type 字符、Post Script 字符、Open Type 字符和 SHX 字符等; 也包括图形文字符号, 指直接用直线、圆弧或多段线命令绘制而成的文字符号, 这类文字符号在轮胎上很多, 它们只具有文字的“形”<sup>[5-6]</sup>, 不是真正意义上的文字符号, 本文称之为图形文字符号。

文本文字符号可以通过文字符号矢量化提取其轮廓曲线点, 用一系列轮廓点去描述文本文字符号外形边界, 按一定的规则构造一条或多条多段线, 就得到了文本文字符号轮廓曲线特征。由于文本字符类型较多, 而 True Type 字体比较常用, 所以以 True Type 字体为例介绍文本文字符号轮廓曲线特征提取算法。算法如下: Step 1 点选相应的文字符号; Step 2 判断选取的文字符号是文本文字符号吗? 若是, 转下一步, 否则程序结束; Step 3 判断其字体是 True Type 字体吗? 若是, 转下一步, 否则程序结束; Step 4 调用 Windows 系统提供的 GetGlyphOutline () 函数, 提取 True Type 字体轮廓数据点; Step 5 利用提取的数据点, 拟合出多边形折线, 得到 True Type 字体轮廓曲线; Step 6 算法结束。

本算法将文字符号曲线轮廓转换为由折线段组成的多段线 (Polyline), 不但完全满足后续数控编程对文字符号线条形式的要求, 而且实现了提取后文字符号线条类型的统一, 方便了后续文字符号轮廓曲线关系特征识别。GetGlyphOutline () 函数的具体实现, 参阅文献<sup>[7-8]</sup>。

图形文字符号轮廓曲线特征提取可以参考上面的算法, 不再介绍。图 4 为文字符号轮廓曲线特征提取示例, 仔细观察可以发现它们的细微差别。

### 2.2 文字符号轮廓曲线关系判别

提取出的文字符号轮廓曲线可能有多条 (例如图 5 中字符“o”由线条 9 和线条 10 组成), 这些轮廓曲线可能是封闭的 (例如字符“o”和字符“8”的轮廓曲线) 也可能是不封闭的 (例如字符“口”和字符“H”的轮廓曲线等)。通过程序进行



图 4 轮廓曲线特征提取示例

Fig.4 A extraction sample of a contour curve feature

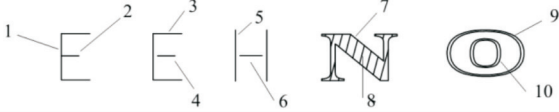


图 5 文字符号曲线关系特征示例

Fig.5 A sample of the constitutive relationship among contour curves of character symbols

文字符号设计时,需要让程序明白组成文字符号的多条轮廓曲线是否属于同一字符(即需要对它们进行关系判定),以便对它们进行整体操作和处理。

文字符号设计可能是先将文字符号沿直线排列好,再将它们向轮胎侧面排字基准圆弧迁移,也可能是直接沿着轮胎侧面不同排字基准圆弧排列,下面给出了两种排列方式下文字符号轮廓曲线关系的判别方法。

### 2.2.1 沿直线排列文字符号轮廓曲线关系判别

对沿着直线排列的文字符号可以以文字符号插入点为原点,定义一个直角坐标系,通过比较提取出来的多条轮廓曲线  $X$  方向坐标值之间的关系,可以判定多条轮廓曲线是否属于同一字符。由于本文提取出的文字符号轮廓曲线为多边形折线,因此只需要判断多边形折线之间的关系。

判定规则 1: 1) 交叉关系(图 6a),如果线段  $AB$  右端点  $B$  的坐标值  $x_B$  大于线段  $CD$  左端点  $C$  的坐标值  $x_C$ 、区间  $[x_C, x_B]$  不为空,则线段  $AB$  与线段  $CD$  之间存在交叉关系; 2) 间隔关系(图 6b),如果线段  $AB$  右端点  $B$  的坐标值  $x_B$  小于线段  $CD$  左端点  $C$  的坐标值  $x_C$ 、区间  $[x_B, x_C]$  不为空(其间隔值为  $\varepsilon = x_C - x_B$ ,  $\varepsilon$  一般比较小,用肉眼有时不易察觉,为便于说明,图 6b 对此进行了放大),则线段  $AB$  与线段  $CD$  之间存在间隔关系; 3) 包围关系(图 6c),如果线段  $CD$  的坐标值区间  $[x_C, x_D]$  包含于线段  $AB$  的坐标值区间  $[x_A, x_B]$ ,则线段  $AB$  和线段  $CD$  之间存在包围关系。

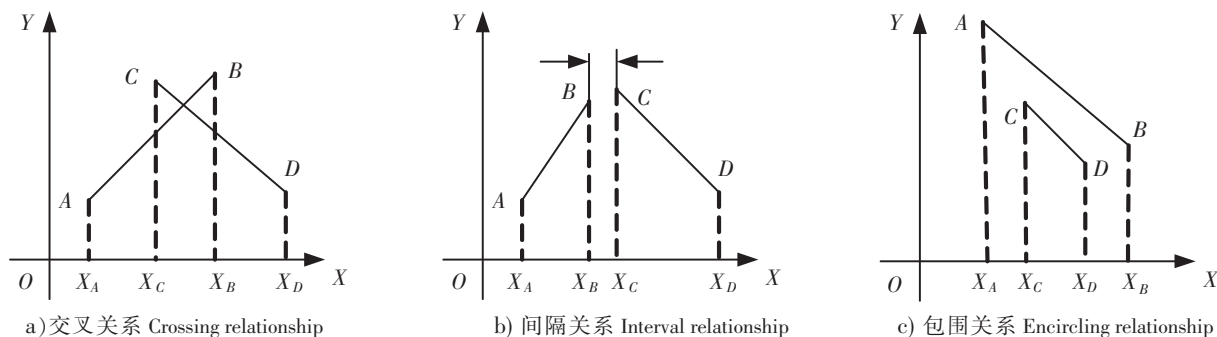


图 6 沿直线排列轮廓曲线之间的关系

Fig.6 Different relationship among contour curves which along a line

沿直线排列文字符号轮廓曲线之间的关系判定算法如下: Step 1 点选沿直线排列的文字符号; Step 2 确定文字符号插入点位置特征; Step 3 以插入点为原点建立直角坐标系; Step 4 根据字符类型,调用相应的算法,提取文字符号轮廓曲线特征; Step 5 建立各轮廓曲线在直角坐标系下轮廓点坐标; Step 6 连接同一条轮廓曲线上相邻轮廓点坐标,得到多边形折线 1; Step 7 连接另一条轮廓曲线上相邻轮廓点坐标,得到多边形折线 2; Step 8 根据规则 1 判定折线 1 与折线 2 存在的关系、存在以上任何一种关系,轮廓曲线 1 和轮廓曲线 2 则属于同一文字符号,算法结束; Step 9 折线 1 与折线 2 不存在以上关系特征,轮廓曲线 1 和轮廓曲线 2 则不属于同一文字符号,算法结束。如果文字符号多于 2 条轮廓曲线,需要重复调用上述算法,两两判定它们之间的关系。

### 2.2.2 沿圆弧排列文字符号轮廓曲线关系判别

为判断沿圆弧排列的文字符号轮廓曲线之间的关系,提出了文字符号张角的概念,即:在极坐标系下文字符号轮廓曲线点最大极角与最小极角之差。

判定规则 2: 1) 图 7 中线段 1 与线段 2 拥有相同的文字符号张角  $\theta_{12}$ , 线段 1 与线段 2 之间存在交叉关系; 2) 线段 3 与线段 4 之间张角存在角度差  $\theta_\varepsilon$ , 因此线段 3 与线段 4 之间存在间隔关系( $\theta_\varepsilon$  一般比较小,为说明问题,图 7 进行了放大,连接关系是  $\theta_\varepsilon$  无限小的特例,连接关系也是一种间隔关系); 3) 线段 6 张角  $\theta_6$  在线段 5 张角  $\theta_5$  内部,因此线段 5 与线段 6 之间存在包围关系。

沿圆弧排列文字符号轮廓曲线之间的关系判定算法如下: Step 1 选沿圆弧排列的文字符号; Step 2 提取文字符号所在的排字基准圆弧; Step 3 提取排字基准圆弧圆心坐标; Step 4 以圆心为



极点, 水平方向向右为极轴建立极坐标系; Step 5 根据字符类型不同, 调用相应的算法, 提取文字符号轮廓曲线特征; Step 6 建立各轮廓曲线在极坐标系下轮廓点坐标  $(\rho, \theta)$ ; Step 7 连接同一条轮廓曲线上相邻轮廓点坐标, 得到多边形折线 1, 计算张角  $\theta_1$ ; Step 8 连接另一条轮廓曲线上相邻轮廓点坐标, 得到多边形折线 2, 计算张角  $\theta_2$ ; Step 9 根据规则 2 判定张角  $\theta_1$  和张角  $\theta_2$  方向的关系, 如果存在关系中的任何一种关系, 则轮廓曲线 1 和轮廓曲线 2 则属于同一文字符号, 算法结束; Step 10 不存在以上关系, 轮廓曲线 1 和轮廓曲线 2 不属于同一文字符号, 算法结束。如果文字符号有多于 2 条轮廓曲线, 需要重复调用上述算法, 两两判定它们之间的关系。

2.3 文字符号工艺间距程序化计算及调整

为了在文字图上直观显示工艺间距判别结果, 提出了辅助测量圆的概念, 即: 进行文字符号工艺间距判别的圆。辅助测量圆位于相邻文字符号的最小间距处, 直径等于最小工艺间距值  $d$ , 具有加工语义。

从图 8 可以看出, 辅助测量圆随机的位于文字符号上部、中部和下部, 显然, 如果手工绘制辅助测量圆会相当费时费力。当辅助测量圆与文字符号相交时, 表示该位置文字符号不能满足加工工艺性要求, 需要进行调整。从图 8 还可以看出, 沿圆弧排列的文字符号沿着半径方向从圆心向外, 文字符号之间的间距是有细微差别的, 图 8 中  $a_1 < a < a_2$ , 其中  $a$  代表了字符  $P$  与字符  $S$  之间的实际间距, 如果采用  $a_1$  或  $a_2$ , 则结果都是错误的, 正确的应该采用  $a$  计算实际间距。当文字符号数量较多时, 利用人工进行以上判别会很麻烦, 为此建立了工艺间距程序化计算及程序化调整算法。

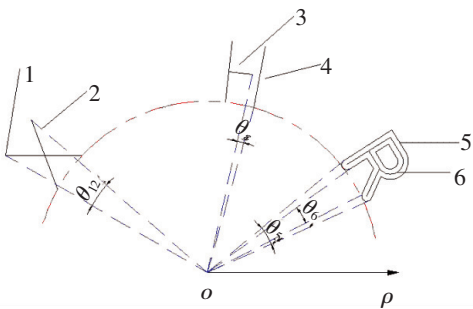


图 7 沿圆弧排列文字符号轮廓曲线之间的关系  
Fig.7 Different relationship among contour curves which along an arc

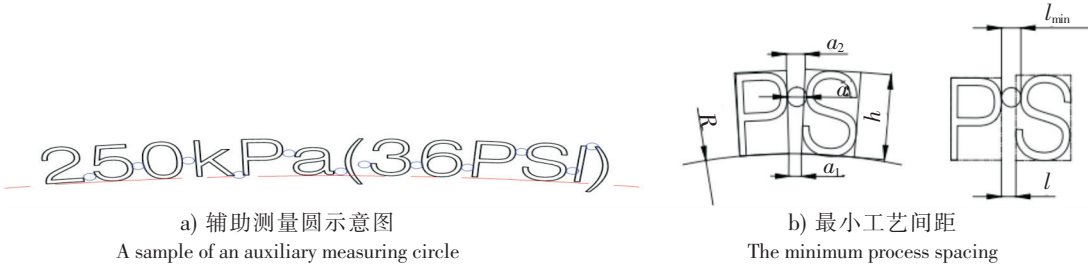


图 8 工艺间距判别与调整

Fig.8 The discrimination and adjustment of the process spacing

2.3.1 沿直线排列文字符号工艺间距计算及调整

参见沿圆弧排列文字符号工艺间距计算及调整。

2.3.2 沿圆弧排列文字符号工艺间距计算及调整

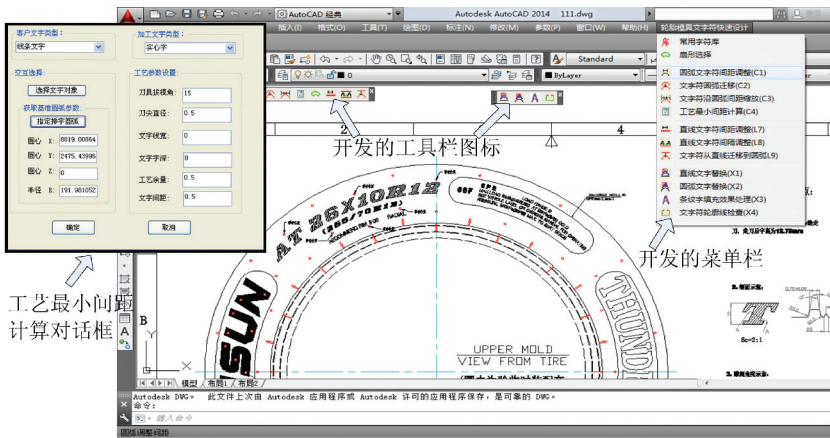
算法: Step 1 点选一串沿圆弧排列的文字符号; Step 2 抽取文字符号类型特征、形状特征和字符串所包含的字符数目等特征; Step 3 根据文字符号类型特征确定其工艺余量、走刀方式等工艺参数; Step 4 根据输入的工艺参数计算最小工艺间距  $d$ ; Step 5 根据字符类型不同, 调用相应的算法, 提取文字符号轮廓曲线特征; Step 6  $e$  为间隔在轮廓曲线上取样本点, 建立文字符号 1 的样本点数组  $\text{PointArr1}[i]$  和文字符号 2 的样本点数组  $\text{PointArr2}[j]$ ,  $e$  的取值一般小于客户文字图上文字符号设计公差值即可; Step 7 从样本点数组  $\text{PointArr1}[i]$  和样本点数组  $\text{PointArr2}[j]$  中循环取点, 计算所取两点之间的距离  $l$ , 筛选出最小值  $l_{\min}$ , 即为相邻文字符号实际最小间距  $a$ ; Step 8 判断实际最小间距  $a$  是否大于或等于最小工艺间距  $d$ , 如果是, 则不需要进行工艺间距调整, 绘制辅助测量圆, 算法结束; Step 9 如果实际最小间距  $a$  小于最小工艺间距  $d$ , 按照最小工艺间距  $d$  调整相邻文字符号之间的位置; Step 10 继续对字符串中其他文字符号进行两两比较, 直至比较和调整完毕, 算

法结束。

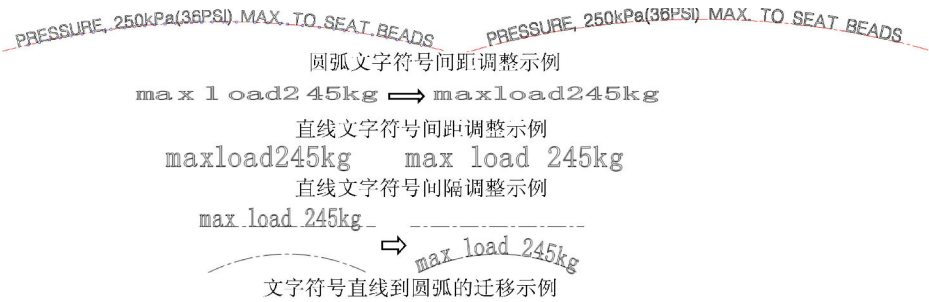
3 系统实现

以 AutoCAD2014 作为轮胎文字符号二维设计平台，基于 ObjectARX 开发了相应的程序<sup>[9-10]</sup>。图 9 为系统界面，所开发的主要功能模块有：

- 1) 工艺最小间距计算，根据选择的文字符号类型特征，在交互下计算出文字符号之间的最小工艺间距；
- 2) 直线文字符号间距调整，可以实现沿某一直线排列的一串文字符号之间间距自动调整；
- 3) 圆弧文字符号间距调整，可以实现沿某一排字基准圆弧上排列的一串文字符号之间间距自动调整；
- 4) 文字符号圆弧迁移，可以将一串文字符号从一个排字基准圆弧上迁移到另外一个排字基准圆弧上；
- 5) 直线文字符号间隔调整，调整沿直线排列的一串文字符号之间的间隔值，即对它们进行断字处理，使得该字符串能表达具体的语义；
- 6) 文字符号从直线迁移到圆弧，可以将沿直线排列的一串文字符号变换成沿某一排字基准圆弧排列；
- 7) 其他功能，包括扇形框选、文字符号替换、条纹填充字、填充效果处理和文字符号轮廓线检查等。



a) 系统界面 System interface



b) 调整字例 An example of these function

图 9 系统界面及功能示例

Fig.9 The system interface and function exhibition

## 4 结束语

1) 为解决传统轮胎文字符号设计过程繁琐、设计效率低和设计质量差的问题,在对文字符号设计过程和设计资料进行总结的基础上,建立了轮胎文字符号程序化设计方法;

2) 研究了文字符号的可加工性,提出了最小工艺间距、辅助测量圆等概念,建立了最小工艺间距计算公式;

3) 提出了文字符号张角概念,建立了文字符号轮廓曲线特征提取算法、关系特征辨别算法、工艺间距自动计算和调整算法,实现了文字符号设计过程程序化,开发了相应功能插件,使得文字符号设计效率提高了15%以上。相关成果已获得3项发明专利授权<sup>[11-13]</sup>。

## [ 参 考 文 献 ]

- [1] 付彦娟. 面向制造的轮胎模具文字符号快速设计方法研究 [D]. 厦门:集美大学,2016.
- [2] 彭忠凯,陈亚洲,付彦娟. UG 二次开发在提取轮胎模具电极资料线的应用 [J]. 机械设计与制造,2017,32(10):236-239.
- [3] CH CHI-H SING, SONG MU-CHI, VINCENT C S DUO. Computer aided parametric design for 3D Tire mold production [J]. Computers in Industry, 2006, 57(1):11-25.
- [4] 付彦娟,陈亚洲,胡志超,等. 轮胎模具文字图快速设计方法 [J]. 机械设计与研究,2016(3):157-161.
- [5] 朱磊,金海,郑然,等. 基于形状语义的外观设计专利检索 [J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2013,25(3):372-380.
- [6] SMITH S, SMITH G, SHENY T. Redesign for product innovation [J]. Design Studies, 2012, 33(2):160-184.
- [7] 姚辉学,付永忠,殷苏民,等. True Type 字体数控雕刻 [J]. 工程图学学报,2007,26(5):148-152.
- [8] 刘蓉,刘明. 激光打标中 True Type 字体的轮廓提取与打标实现 [J]. 计算机应用与软件,2005,22(7):72-76.
- [9] 张帆,朱文俊. AutoCAD ObjectARX (VC) 开发基础与实例教程 [M]. 北京:中国电力出版社,2014:177-191.
- [10] 王文波,邹清源,张斯珩,等. AutoCAD2010 二次开发实例教程 (Object ARX) [M]. 北京:机械工业出版社,2013:86-155.
- [11] 陈亚洲,游福泉,韩庚生,等. 一种用于轮胎模具圆弧排字的 CAD 字间距调整方法:201610044643.5 [P]. 2018-05-31
- [12] 陈亚洲,王琳,胡志超,等. 一种 CAD 直线文字间距调整方法:201610044653.9 [P]. 2018-07-03.
- [13] 陈亚洲,郑添义,王琳,等. 一种 CAD 目标选取方法:201610044613.4 [P]. 2018-10-18.

(责任编辑 陈 敏 英文审校 郑青榕)