

# 基于 Python 的女式衬衫版样自动化生成技术

刘 乐<sup>1</sup>, 任祥放<sup>1</sup>, 金 鹏<sup>2</sup>, 沈 雷<sup>\*1</sup>, 王 军<sup>3</sup>

(1. 江南大学 设计学院, 江苏 无锡 214122; 2. 东华大学 服装与艺术设计学院, 上海 200051; 3. 红豆工业互联网有限公司, 江苏 无锡 214000)

**摘 要:**为解决自动化制版技术与工业化生产设备的兼容性问题,结合 Python 语言和 AutoCAD 二次开发功能,提出了一种女式衬衫参数化版样自动生成技术。通过分析版样曲线拟合原理,设计3种“离散曲线”算法。根据女式衬衫制版原理计算各控制点与领围、胸围、衣长、袖长和袖头宽5个关键参数的线性关系,搭建女式衬衫参数化算法模型框架,并采用 MATLAB 拟合工具箱 Curve Fitting Tool 进行曲线真值拟合误差比对。结果表明:女式衬衫参数化版样自动生成技术可以实现个性化纸样的快速生成;自动生成版样可作为车间数控裁剪设备的走刀路径,用于实现全自动化生产;自动生成的曲线真值拟合误差各参数良好,手工制版与自动生成的曲线拟合相似度接近。该技术可应用到其他服装品类,提高服装个性化定制的快速反应能力。

**关键词:** 参数化制版;服装版样;Python;女式衬衫;MATLAB;服装定制设计

**中图分类号:** TS 941.26 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-1928(2023)03-0201-10

## Automatic Generation Technology of Women's Ahirt Template Based on Python

LIU Le<sup>1</sup>, REN Xiangfang<sup>1</sup>, JIN Peng<sup>2</sup>, SHEN Lei<sup>\*1</sup>, WANG Jun<sup>3</sup>

(1. School of Design, Jiangnan University, Wuxi 214122, China; 2. College of Fashion and Design, Donghua University, Shanghai 200051, China; 3. Hongdou Industrial Internet Co., Ltd., Wuxi 214000, China)

**Abstract:** In order to solve the problem of compatibility between automatic platemaking technology and industrial production equipment, combining Python language and AutoCAD secondary development function, an automatic generation technology of parametric sample of blouse was proposed. By analyzing the model curve fitting principle, three "discrete curve" algorithms were designed. According to the platemaking principle of women's blouse, the linear relationship between each control point and five key parameters including collar circumference, chest circumference, garment length, sleeve length and sleeve width were calculated, and the parametric algorithm model framework of women's blouse was built. MATLAB Curve Fitting Tool was used to compare the fitting errors of curve true value. The results showed that the automatic generation technology of parametric pattern could realize the rapid generation of personalized pattern. The sample could be used as the cutting path of CNC cutting equipment in the workshop to realize fully automatic production. Automatically generated curve true value fitting error parameters were good. Manual plate making and automatically generated curve fitting was similar. The technology can be applied to other clothing categories to improve the rapid response ability of personalized clothing customization.

**Key words:** parameterized plate making, garment sample, Python, women's ahirt, MATLAB, custom fashion design

收稿日期: 2021-12-28; 修订日期: 2022-08-30。

基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金项目(20YJAZH087); 国家重点研发计划重点专项项目(2019YFB1405700)。

作者简介: 刘 乐(1999—), 女, 硕士研究生。

\* 通信作者: 沈 雷(1963—), 男, 教授, 博士生导师。主要研究方向为服装设计与品牌。Email: sl999@sina.com

随着科技与时尚的深入融合,传统服装制版方法已不能满足当代消费者个性化定制的需求。目前,国内外大多数服装企业依靠 ET、富怡、博克等 CAD 软件进行版样的绘制和自动放码。自动放码技术发展较快,例如,采用三角剖分算法与网格变形算法优化了过去常规线放码,使之更加贴近目标人体数据<sup>[1-2]</sup>。但该方法只适用于服装标准尺寸规格的整体缩放,不能对个性化人体数据或服装结构进行自动修正。因此该类软件只能依据人体尺寸从典型版样库中搜索出较匹配的版型,再通过版师经验对局部进行调整获得个性化纸样,对版师依赖度高,降低了企业对个性化定制的快速响应能力。

研发服装参数化制版系统是解决服装版样智能化生产的关键。服装参数化制版是用与人体体型特征密切相关的服装关键部位尺寸来设置、开发服装参数化版样模型或系统,通过输入的参数值,实现参数化服装纸样的自动生成,从而达到个性化定制、一人一版等。

近几年,国内外学者针对服装版样智能化生产有诸多研究。运用数字化三维人体模型软件或三维人体扫描仪等三维模型进行定制设计,可以实时评估调整版样与模型的拟合情况<sup>[3-5]</sup>;运用 AutoCAD 等图案 CAD 设计软件的几何约束和标注约束自动生成个性化服装版样<sup>[6-7]</sup>;运用 MATLAB 平台编程或 visual lisp 开发工具等编程软件,结合西服版样数学模型及制版方法设计西装纸样智能生成系统<sup>[8-10]</sup>。基于三维、二维和编程等软件实现服装自动化制版,很大程度上打破了仅依靠传统服装 CAD 的局限,给服装智能化的研究提供了新思路。但以

上研究有几个不可避免的缺点:①参数设置复杂且数量多,生产可操作性和工业化水平较低;②参数无法存储;③参数变量不能与外部端口进行衔接;④整体系统集成程度低;⑤缺少真值(ground truth)的误差比对实验。

文中以女式衬衫为例,针对过去研究中存在的问题,现拟开发一种基于 Python 的参数化版样自动生成技术。为了实现参数和版样文件与外部文件的交互编辑与联动,解决自动化制版技术与工业化生产设备的兼容性问题,提出 3 种“离散曲线”绘制方法,绘制的版样轮廓曲线能被车间数控裁剪设备识别,并可用于开发女式衬衫参数化版样自动生成,以期有效提高系统集成程度。

## 1 研究方法

### 1.1 研究技术路线

研究技术路线如图 1 所示。首先搭建 Python 开发环境,利用第三方开源库 pyautocad 对 AutoCAD 进行二次开发,以设计出能被车间数控裁剪设备所识别的 C 型曲线和 S 型曲线。然后分析服装版样结构线与人体关键部位尺寸的约束关系,建立版样参数化坐标系。参数化坐标系完成后对版片进行算法描述,构建完整女式衬衫参数化算法模型,模型包含曲线函数层、版样函数层和函数调用层。若要调整参数,则只在模型中改变参数值大小,无须对基础版样进行大规模修改,即可利用参数驱动实现版样的自动生成。在完成参数化版样模型后使用 MATLAB 拟合工具箱 Curve Fitting Tool 进行曲线真值拟合误差比对。

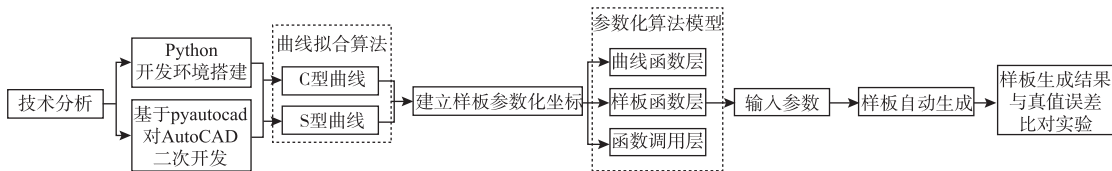


图 1 基于 Python 的参数化版样自动生成技术路线

Fig. 1 A Technical roadmap for automatic generation of parameterized templates based on Python

### 1.2 基于 Python 参数化制图原理

Python 具有互动性、解释性及编译性特征,被广泛应用于数据分析、大数据处理和人工智能等领域。同时,Python 语言还具有开源性,及可移植性、可扩展性和可嵌入性等优势,利于开发大型软件<sup>[11]</sup>,因此适用于文中的自动制版系统的研发。AutoCAD 软件的参数驱动绘图系统可以满足服装版样制图中的公式转换,但由于 AutoCAD 自带的参数会随着软件的更新与迭代,在操作方面发生变化,从而影响自动绘图的安全性、时效性与统一性。因

此文中利用 Python3 对 AutoCAD 的二次开发,实现参数化服装版样绘图。Python 参数化制图是基于服装纸样设计原理,将服装版样结构规则和服装制图方法步骤通过编程语言进行程序化设计,将服装版样中的点和线通过参数化公式驱动相连接从而生成服装个性化版样。

## 2 服装版样曲线拟合算法

服装版样轮廓中的曲线可以归纳为两种造型,根据曲线不同类型设计对应的算法:①C 型曲线,如

前后领窝弧线、袖窿窝弧线和下摆围弧线等;②S 型曲线,如袖山曲线、领座曲线和臀围曲线等。

基于 AutoCAD 绘图软件和 pyautocad 库,利用圆弧和样条曲线工具拟合服装版样轮廓曲线,建立多段线矩阵,将曲线离散化为微线段,将其作为车间数控裁剪设备的走刀路径,生成可自动裁剪的参数化服装版样<sup>[12]</sup>。

### 2.1 C 型曲线的分类

C 型曲线分为(单)圆弧曲线和多圆弧曲线,算法为圆弧曲线离散和多圆弧曲线离散。圆弧离散主要用于绘制后领窝弧线、圆角领等;多圆弧曲线离散主要用于绘制袖窿窝弧线等。

**2.1.1 圆弧曲线离散** 通过两个坐标点画弧,会有无数可能,必须引入第 3 个参数凸度( $B$ ),来确定经过这两点的唯一弧线。凸度反映了两点之间对应弧度的大小和圆弧(arc)的方向,凸度的具体值根据几何知识可知,计算方式为

$$B = \tan \frac{\theta}{4} \tag{1}$$

式中: $\theta$  为圆弧圆心角,可在 AutoCAD 中测量得出。

圆弧的方向可以根据圆弧的起点和终点的相对方向得出。例如圆弧上的起点为 0 度,终点为 180°;圆弧存在上半圆或下半圆两种情况。凸度正、负值示意如图 2 所示。

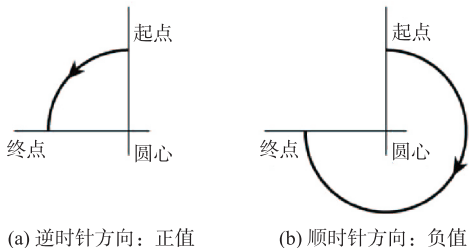


图 2 凸度正值和负值示意

Fig. 2 Bulge of positive and negative convexity

在服装智能化生产中,由于大多数控系统都支持圆弧插补,并且在加工的过程中,圆弧轨迹又可以保证加工曲面光滑,因此要使参数化自动生成的服装轮廓线能被车间数控裁剪设备识别,必须将圆弧转化为多段线(PolyLine)<sup>[13]</sup>。构建圆弧离散函数(arc\_pline)主要有 3 步。

1) 计算  $\theta$  和半径  $r$ 。建立圆弧矩阵,输入圆弧的起始点  $P_s(x_s, y_s)$  和终止点  $P_e(x_e, y_e)$ ,根据圆弧凸度推导出圆弧角  $\theta$  和半径  $r$ 。采用反函数计算  $\theta$ :

$$\theta = \arctan(|B|) \times 4, \tag{2}$$

再使用正弦值反推得出  $r$ ,即

$$r = \left[ \frac{1}{2}d(P_s, P_e) \right] / \frac{1}{2}\sin\theta \tag{3}$$

式中: $d$  为  $P_s$  和  $P_e$  的坐标距离。

2) 确定圆心点坐标位置。给定起始点和终止点及半径  $r$ ,创建两个圆,根据向量加法的三角形法则,用 if 嵌套语句判断  $\overrightarrow{P_s P_e}$  相对  $x$  轴的正负值,确定圆弧的方向。圆弧圆心点坐标位置示意如图 3 所示。

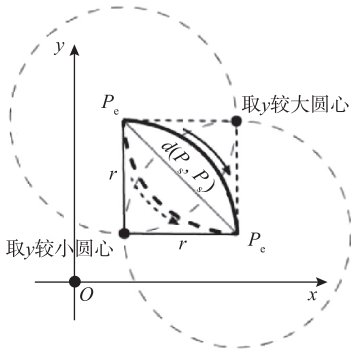


图 3 圆弧圆心点坐标位置示意

Fig. 3 Coordinates of the center point of an arc

3) 设 30 段圆弧微线段,求出圆弧 31 点坐标位置。使用三角函数公式推导出圆弧 31 点对应坐标  $x$  轴与  $y$  轴的坐标值。

当凸度  $> 0$  时:

$$y = r \times \sin(\theta_0 - i \times \theta_l), \tag{4}$$

$$x = r \times \cos(\theta_0 - i \times \theta_l); \tag{5}$$

当凸度  $< 0$  时:

$$y = r \times \sin(\theta_0 + i \times \theta_l), \tag{6}$$

$$x = r \times \cos(\theta_0 + i \times \theta_l); \tag{7}$$

式中: $\theta_0$  为起始点与  $x$  轴夹角; $\theta_l$  为每条微线段包含的角度; $i$  的范围为  $1 \leq i \leq 31$ 。

图 4 为使用上述圆弧凸度离散函数算法得到的后领线。从图 4 可看出,使用由参数坐标自动生成的圆弧曲线与手绘圆弧曲线趋于一致。

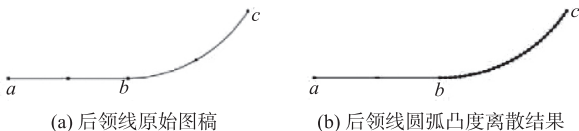


图 4 凸度圆弧原稿与凸度离散函数算法生成结果

Fig. 4 Original convex arc and the generated results of the convex discrete function algorithm

**2.1.2 多圆弧曲线离散** 以袖窿深线为例,该曲线采用多圆弧曲线拟合,在 AutoCAD 中可以通过样条曲线工具由多个控制点拟合多段圆弧组合而成。图 5 为多圆弧曲线拟合示意。根据几何知识,在直角  $\triangle AOB$  中,以袖窿窝线为例,在平面上给定  $A, B$  端点以及切线  $\overline{OA}, \overline{OB}$ ,以  $A, B$  为端点,  $p_1, p_2, p_3$  为切

点,作 4 段圆弧且与  $\overline{OA}$ ,  $\overline{OB}$  相切拟合得到  $\widehat{AB}$  多圆弧曲线<sup>[14]</sup>。文中排除  $OA = OB$  的情况,否则可用一段圆弧拟合曲线。

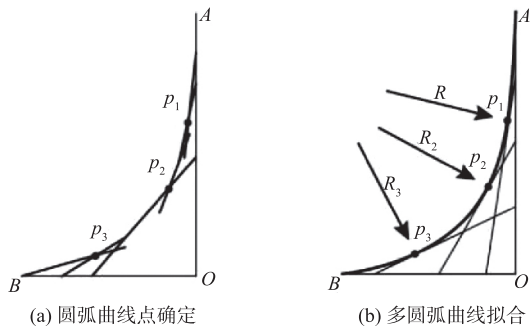


图 5 多圆弧线拟合示意

Fig. 5 Fitting diagram of multi-arc lines

由于  $\overline{OA}$  不等于  $\overline{OB}$ , 并且  $\widehat{AB}$  近似一条椭圆弧, 因此算法编写可利用椭圆弧依次实现多圆弧曲线的绘制<sup>[14]</sup>。算法编写主要分两步: ①先根据两点坐标拟合合成一条椭圆弧线; ②增加一条非匀值半径插补控制弧线得到经过任意多个公切点的多圆弧曲线。

根据圆弧拟合算法<sup>[15]</sup>, 基于由连续多条直线拟合曲线的设计原理, 得到小线段拟合插补算法, 并加入标准圆半径对椭圆两半轴的插补控制。为使多圆弧线拟合得到更加接近原服装轮廓曲线, 将 30 条小段分为上下 15 小段, 用服装轮廓曲线造型乘以变化系数得到每小段新的非匀值半径  $r_2$ 。

$$r_2 = r_1 \times [1 \pm (15 - |i - 15|)] / 15 \times \varepsilon \quad (8)$$

式中:  $r_1$  为正圆半径;  $r_2$  为非匀值半径;  $\varepsilon$  ( $\varepsilon > 0$ ) 为多圆弧曲线模型与目标曲线之间的变化系数,  $i$  的范围为  $1 \leq i \leq 31$ 。

得到每小段半径  $r_2$  的值后, 再用正圆半径减去比例差值得到第 31 个椭圆长半轴  $a_i$  和短半轴  $b_i$  坐标值。

$$\theta_i = \frac{i \times 3}{180} \times \pi \quad (9)$$

$$b_i = r_1 - r_2 \times \cos \theta_i \times \left( \frac{O_b}{r_1} \right) - (r_1 - O_b) + b_o \quad (10)$$

$$a_i = r_1 - r_2 \times \sin \theta_i \times \left( \frac{O_a}{r_1} \right) - (r_1 - O_a) + a_o \quad (11)$$

式中:  $\theta_i$  为每段正圆弧圆心角;  $O_b$  和  $O_a$  分别为短半轴和长半轴的长度;  $b_i$  和  $a_i$  分别为 31 个椭圆短半轴和长半轴的坐标值;  $O$  为椭圆圆心坐标点,  $i$  的范围为  $1 \leq i \leq 31$ 。

图 6 为袖窿窝线原稿与多圆弧离散函数算法生成结果对比。

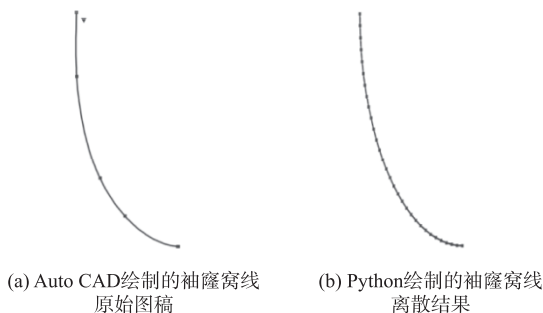


图 6 袖窿窝线参数化绘制结果

Fig. 6 Parametric drawing results of armhole socket line

## 2.2 S 型曲线的分类

S 型曲线为样条曲线, 算法为样条曲线离散, 主要用于袖山曲线、侧缝曲线等绘制。

S 曲线是服装版样轮廓线中最复杂的曲线, 在 AutoCAD 中通过样条曲线 (Spline) 工具拟合合成 S 曲线。型值点和控制点是样条曲线拟合过程中非重要的 2 个点, 影响着拟合精度和拟合速度。一般而言, 型值点和控制点越多, 曲线越光滑, 拟合的效果就越好<sup>[15]</sup>, 但过程越烦琐。因此, 一个良好的拟合方法要求用较少的型值点和控制点实现较高的拟合精度, 而实现该要求的方法是插入不同参数和算法<sup>[16]</sup>。基于二次 B 样条曲线拟合算法<sup>[17]</sup>, 利用两条 2 次曲线近似一条 3 次曲线的设计思想, 实现多控制点曲线的快速拟合, 在此算法设计原理之上, 构建一种基于坐标数组和坐标矩阵的样条曲线离散函数, 曲线的拟合操作分为两部分, 即数据点的参数化和曲线的迭代拟合<sup>[18]</sup>。

1) 根据服装原型版样知识设立关键参数及对应  $x$  轴和  $y$  轴的坐标公式。以 160/84A 号型女式衬衫袖片为例, 根据袖山弧线绘制原则, 设袖山顶点 (肩点)  $F_1$ 、前腋点  $F_2$  和后腋点  $F_3$  为曲线关键参数点, 由距离公式可计算袖肥宽度。

2) 增加型值点来比拟一组曲线离散点坐标, 得到样条曲线模型<sup>[18]</sup>。为了提升曲线拟合精度, 将曲线离散成 80 个控制点坐标, 以后腋点  $F_3$  为坐标原点, 袖肥宽为  $x$  轴, 遍历袖肥宽中每个坐标点的  $x$  轴和  $y$  轴的数值, 生成样条曲线离散模型。即:

$$m_i = i \times \frac{|F_2 F_3|}{79} \quad (12)$$

式中:  $m_i$  为 80 个坐标点的  $x$  轴数值;  $|F_2 F_3|$  为袖肥宽度,  $i$  的范围为  $1 \leq i \leq 80$ 。

利用 AutoCAD 的 #Dataextraction 命令语句获取每条  $x$  轴线段与袖山弧线的交点, 提取每个交点的  $y$  轴数值  $n_i$  并赋值于  $y$  轴数组。

3) 曲线的迭代拟合, 基于样条曲线模型乘以变

化系数得到新曲线各坐标位置<sup>[18]</sup>。计算过程为

$$v_x = \sqrt{(A_f - y_{F_1})^2 + (A_b - y_{F_1})^2}, \quad (13)$$

$$v_y = \frac{W}{10} + 3; \quad (14)$$

$$\varepsilon_x = v_x / |F_2 F_3|, \quad (15)$$

$$\varepsilon_y = v_y / T。 \quad (16)$$

式中: $A_f$  为前袖窿长度, $A_b$  为后袖窿长度; $W$  为胸围; $v_x$  为袖肥宽参数化公式; $v_y$  为袖山高参数化公式; $\varepsilon_x$  为袖肥宽变化系数; $\varepsilon_y$  为袖山高变化系数, $T$  为袖山长度。

4) 搭建新曲线坐标点矩阵  $np.zeros, m_i$  和  $n_i$  分别乘以  $\varepsilon_x$  和  $\varepsilon_y$ , 最后返回参数变化后 80 个样条曲线控制点坐标。以袖山弧线为例, 袖山弧线原稿与袖山弧线样条曲线离散函数算法生成结果对比, 如图 7 所示。

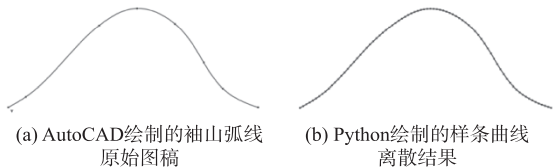


图 7 袖山弧线原稿与样条曲线离散函数算法生成结果  
Fig. 7 Generation results of discrete function algorithm of xiushan curve and spline curve

### 3 开发环境搭建和模型搭建

#### 3.1 Python 开发环境搭建

二次开发的主要目的是结合外部软件功能, 利用软件结合的优势获得多元化功能开发成效, 简化绘图步骤, 提高系统运行的稳定性。AutoCAD 二次开发的过程中, 导入 Python 第三方库 numpy, math 和 pyautocad, 其中 pyautocad 模块是可以控制 AutoCAD 的命令<sup>[19]</sup>。基于 pyautocad 第三方开源库, 通过 jupyter book 编译环境搭建 Python 算法驱动 AutoCAD, 完成服装版样的自动生成。Python 友好的开发环境使自动生成的参数化版样可以与外部系统兼容, 便捷地实现参数的输入、调整和数据存储。

#### 3.2 女式衬衫结构的参数化模型搭建

3.2.1 参数化坐标建立 选用新文化女装原型绘制女式衬衫纸样, 选择 160/84A 号型搭建版样坐标模型。以女式衬衫衣身前后片和袖子为例绘制各控制点坐标, 具体如图 8 所示。基于关键参数(领围、胸围、肩宽、衣长、袖长和袖头宽)和服装结构之间的内在联系, 推导出服装版样轮廓线各控制点及对应的坐标表达式。

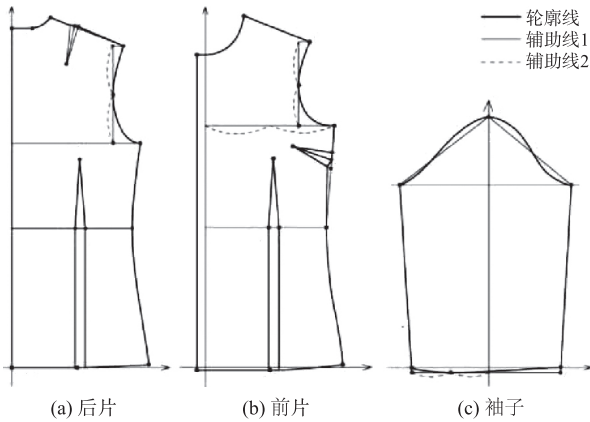


图 8 女式衬衫衣身各控制点坐标  
Fig. 8 Coordinate diagram of each control point of woman's blouse

3.2.2 参数化模型框架 基于 Windows 系统和 AutoCAD 2018 软件建立 Python3 开发环境, 并在 jupyter notebook 中进行算法编译。在算法编译前先自动加载对应版本 AutoCAD 2018 的二次开发插件 ArxDbg, 实现 Python 对软件的控制与测试。女式衬衫参数化模型框架主要分为 3 层, 具体如图 9 所示。

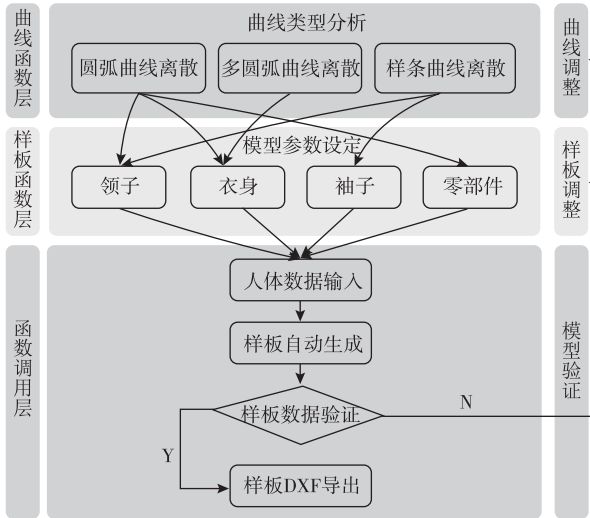


图 9 女式衬衫参数化算法模型框架  
Fig. 9 Frame diagram of parameterized algorithm model for women's shirts

3.2.3 版样函数搭建 Python 算法语言的一大优势是面向对象的编译方法, 该方法具有易读性、封装性、继承性和多态性的优异特性, 因此在明确各版样部件控制点及对应要使用的曲线函数类型后, 根据以上特性对女式衬衫各版样进行描述。表 1 为各版样函数内部框架。

为满足易读性要求, 将所有版样函数的命名及各参数表达式以服装版样制图要求进行编写。封装性可以将各版样利用定义函数实现封装独立, 在

函数的内部把参数当作变量使用,进行各参数之间的数据处理,同时也可以调用其他函数,根据运算逻辑打包成各代码块完成函数的搭建。在所有函数搭建完成后可以根据款式类型、曲线类型定义不同的类(class),并利用继承机制实现代码的复用。

表 1 各版样函数内部框架

Tab.1 Internal frame table of each sample function		
版样	函数	内部框架
领子	def shirt collar( <i>N</i> )	领子坐标参数
		样条曲线函数
		圆弧曲线离散
衣身	def cloth piece( <i>N</i> , <i>W</i> , <i>L</i> )	前后衣身坐标参数
		圆弧曲线离散
		多圆弧曲线离散
袖子	def sleeve(sleeve length, cuff-width, <i>W</i> , front_ah_length, back_ah_length)	袖子坐标参数
		样条曲线函数

注:*N*为领围;*W*为胸围;*L*为衣长。

**3.2.4 袖窿弧线与袖山弧线参数联动** 由于人们对服装穿着美观度的需求,在绘制衬衫袖窿弧线和袖山弧线时增加 0.5 ~ 1 cm 吃势量,以得到饱满的曲线,且缝绉拼接后造型更为美观立体<sup>[20]</sup>。具体绘制时先由袖山高和袖山斜线确定袖山三角形,再将袖山斜线根据吃势量转换为袖山弧线。前、后袖山三角形三条边的长度关系可用勾股定理确定,如图 10 所示。要实现袖窿弧线与袖山弧线参数联动,必须在函数搭建中自动计算前、后袖窿曲线长度,将结果自动赋值于前、后袖山斜线,再计算袖子各坐标点参数表达式,最后自动生成与衣身数据匹配的袖子版样。袖窿弧线与袖山弧线联动数据见表 2。当胸围、袖长、袖头宽等数据变化时,袖山弧线和袖窿弧线差值维持在 0.5 ~ 1 cm 合理吃势内。

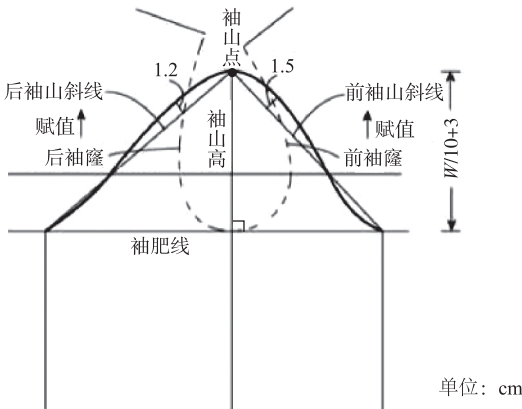


图 10 袖窿弧线与袖山弧线参数联动示意

Fig.10 Linkage diagram of armhole arc and armhole arc parameters

表 2 袖窿弧线与袖山弧线联动数据

Tab.2 Test table of data of sleeve cage arc and sleeve hill

arc		单位:cm		
号型	胸围	袖窿弧线	袖山弧线	吃势量
160/86A	86	37.231	37.827	0.596
165/90A	90	38.529	39.064	0.535
170/94A	94	39.834	40.608	0.774
172/98A	98	41.145	41.758	0.613

3.3 参数化版样的自动生成

参数化版样的自动生成系统最终以 Web 形式呈现。在 jupyter notebook 编程平台编写完成参数化版样算法文件,后端利用 java 搭建,前端使用 VUE 框架进行设计与开发。女式衬衫参数化版样自动生成界面如图 11 所示。在窗口领围、胸围、衣长、袖长输入用户所需尺寸,每位用户输入的数据可在后端储存到自己的账号中,最后点击“版样生成”即可自动生成对应参数的版样。点击“下载”即可自动下载 DXF 文件(版样通用文件),文件可进行编辑或打印。

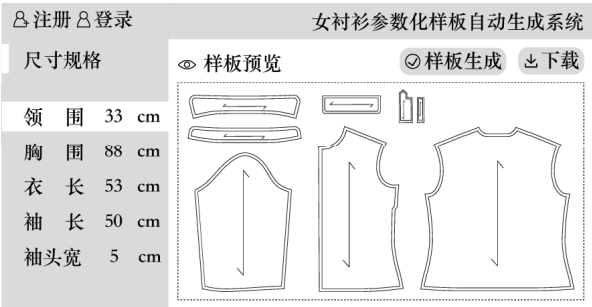


图 11 女式衬衫参数化版样自动生成系统界面

Fig.11 Automatic generation interface of parameterized sample of women's shirt

4 参数化版样结果验证

4 位不同身高、体型的女性受试者人体关键部位数据见表 3。采用两种方式对版样的可行性与合体性进行验证:①参数化版样模型的结构调整与数据验证;②参数化版样虚拟试衣压力测试与合体性评估。

4.1 版样的数据结果

**4.1.1 版样模型的结构调整** 该模型将领围、胸围、衣长和袖长 4 个关键参数设置为可由用户控制的交互性参数,程序在运行时会根据用户设定值,按照参数化算法模型自动计算各控制点坐标生成新的版样图。根据定制需求,交互性参数可以由关键参数扩展到次要参数或变量参数,进一步提升参数化制版的精确度。例如在上述算法模型中增加

一项“收腰量”的交互性参数,用户就可以通过定制收腰量的尺寸来控制衬衣腰部的紧身度。以 1<sup>#</sup>受试者为例,分别设置为 0,1.5 ,2.5 cm 收腰量,不同收腰量的后片对比如图 12 所示。

表 3 4 位受试者人体关键部位数据  
Tab.3 Data on key body parts of four subjects

受试者编号	身高	体型	颈围	胸围	肩宽	腰围	背长	袖长
1 <sup>#</sup>	156	偏瘦	31	78	37	67	38	50
2 <sup>#</sup>	163	标准	33	88	38	70	39	52
3 <sup>#</sup>	168	偏胖	36	100	41	73	40	54
4 <sup>#</sup>	172	偏瘦	34	83	41	68	42	55



图 12 不同收腰量的后片版样对比

Fig. 12 Comparison of back plate samples with different waist

4.1.2 版样模型的数据验证 根据 4 位受试者的人体关键部位数据,调整女式衬衫中相应的 4 组关键部位(领围、胸围、衣长和袖长)参数,以验证模型的效果结果见表 4。表 4 中数据显示,受试者成衣尺寸与Python参数化自动生成的版样数据的误差控制在  $\pm 0.5$  cm,在合理范围内,不影响衬衫整体造型。图 13 为关键参数不同参数值的版样对比。图 14 为调整后整体版样。

表 4 参数化版样自动生成数据与受试者成衣尺寸对比  
Tab.4 Comparison between the data automatically generated by the parametric sample and the subject's clothing size

受试者编号	组别	领围/cm	胸围/cm	衣长/cm	袖长/cm	生成时间/s
1 <sup>#</sup>	A	33.00	88.00	53.00	50.0	0.152 34
	B	33.24	88.50	52.75	50.1	
2 <sup>#</sup>	A	35.00	98.00	54.00	52.0	0.132 75
	B	35.00	97.56	54.00	52.3	
3 <sup>#</sup>	A	38.00	108.00	55.00	54.0	0.106 35
	B	38.01	108.44	55.11	54.3	
4 <sup>#</sup>	A	36.00	93.00	57.00	55.0	0.114 25
	B	36.60	92.88	57.33	55.0	

注:A 为 4 位受试者成衣数据,B 为参数化自动生成版样数据。各关键数据为加放松量后的成衣数据,领围加放 2 cm、胸围加放 10 cm、衣长在背长基础上加放 15 cm、袖长不加放。

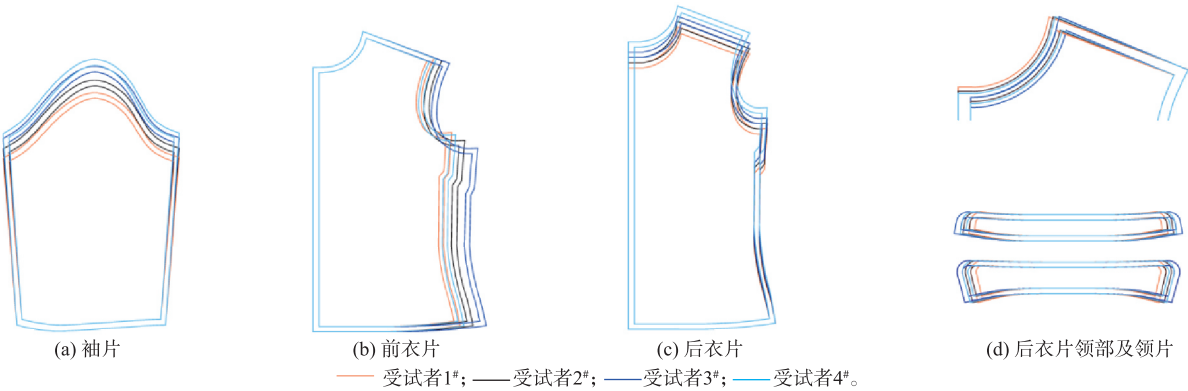


图 13 关键参数不同参数值的版样对比

Fig. 13 Sample comparison of key parameter values

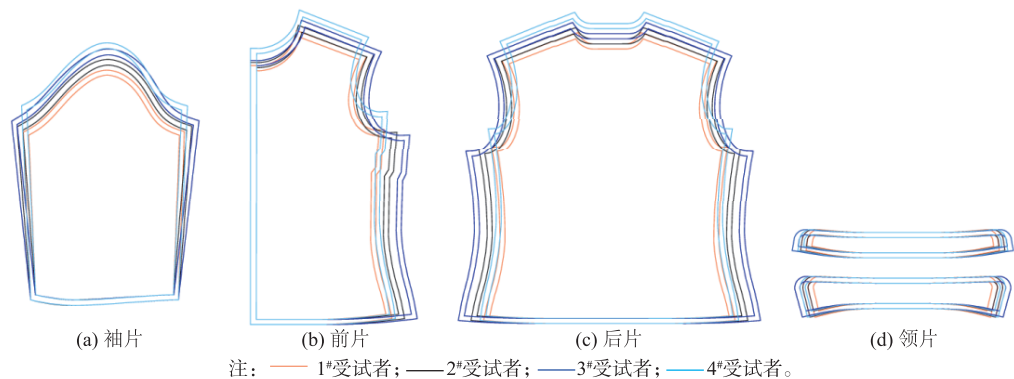


图 14 关键参数调整后整体版样

Fig. 14 Overall sample diagram after key parameters are adjusted

4.2 版样数据对比实验

4.2.1 版样平面结构图对比 以表 3 中 4 位女性受试者女士衬衫成衣胸围尺寸为例,分别使用 Python 参数化自动生成的版片和富怡 CAD 制版,将二者重合进行对比实验,结果如图 15 所示。图 15

中黑色轮廓版型由 Python 参数化自动制版所得,浅灰色轮廓版型由富怡 CAD 制版所得。对比观察二者轮廓线重合度,衬衫的整体长度及围度一致;在衬衫结构中曲线的部位,如袖窿曲线、前后领围线,侧缝曲线线条有少量误差,但不影响整体版型。

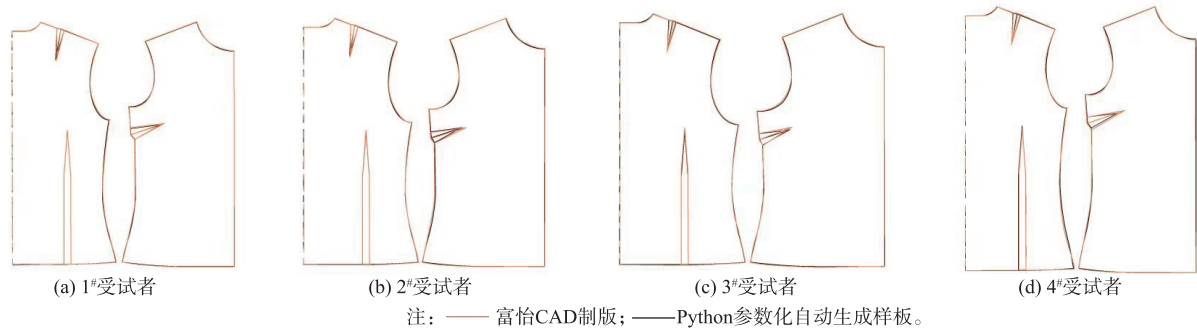


图 15 不同女式衬衫胸围自动生成系统制版与富怡 CAD 制版对比

Fig. 15 Comparison of different blouses with CAD plate-making system

4.2.2 真值误差比对实验

1)实验对象和流程。采用 MATLAB 拟合工具箱 Curve Fitting Tool 进行曲线真值拟合误差比对,测试自动化制版与手工制版之间的拟合误差。实验以表 4 中 4 位受试者的成衣数据作为拟合实验对象,分别选取版师用富怡 CAD 打版的版样原稿及 Python 参数化自动生成的版样,对前领围线、袖山曲线、袖窿曲线进行重合比对。对比流程为:①导出手工版样绘制原稿与自动绘制版样的各控制点坐标;②加载  $x$  和  $y$  轴数据;③选 Smoothing Spline 平滑样条拟合作为拟合方式;④进行拟合。

2)实验参数。拟合曲线的优劣可以使用相关参数来衡量,在 Curve Fitting Tool 拟合工具箱中提供 4 种参数供参考。①SSE:误差平方和。该数值越接近于 0,说明该曲线和原始实验数据拟合得越好。②R-square:确定系数。该值越趋向 1 时拟合

效果越好,该影响程度是判断所拟合的曲线方程是否合适的重要尺度。③Adjusted R-square:校正确定系数。该值越趋向 1 时拟合效果越好。④RMSE:均方根误差。该值越趋向 0 拟合效果越好,该参数在一定程度上验证拟合曲线描述实验数据是否具有更好精确度。

3)实验结果。以体型偏胖的 3#受试者测试的 3 组曲线拟合结果作为示例,结果如图 16~18 所示,从文中可以看出,3 组原稿曲线与自动生成的曲线拟合后重合度较高;从 4 项实验参数看,自动生成的拟合曲线各项参数都优于手工制版的曲线,且各参数结果误差都接近于参数表现的最优结果。分别将 4 项实验参数结果进行标准差计算得到富怡 CAD 打版的版样原稿和 Python 参数化自动生成版样的各项参数值,具体见表 5。

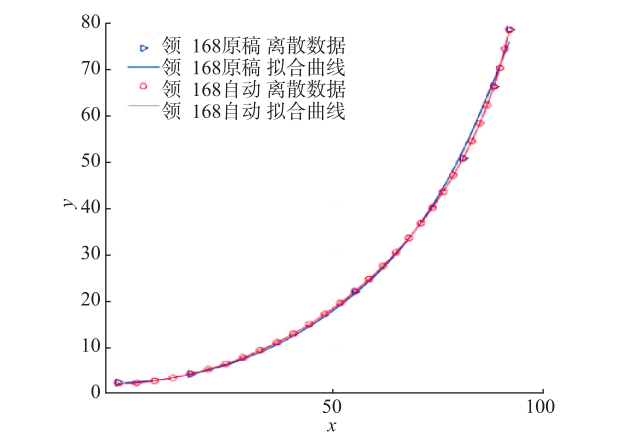


图 16 前领围线真值误差对比

Fig. 16 Comparison of truth error of front collar line

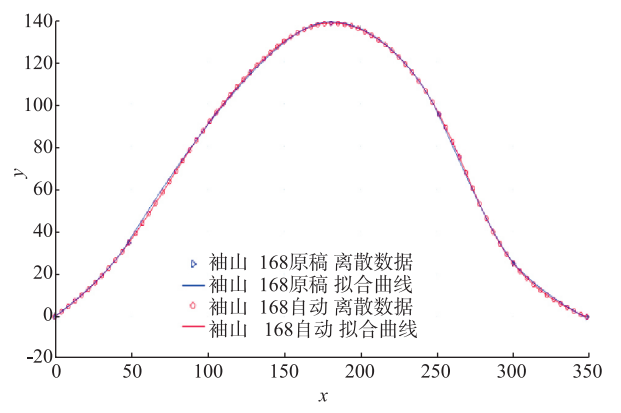


图 17 袖山曲线真值误差对比

Fig. 17 Comparison of truth error of Sleeve hill curve

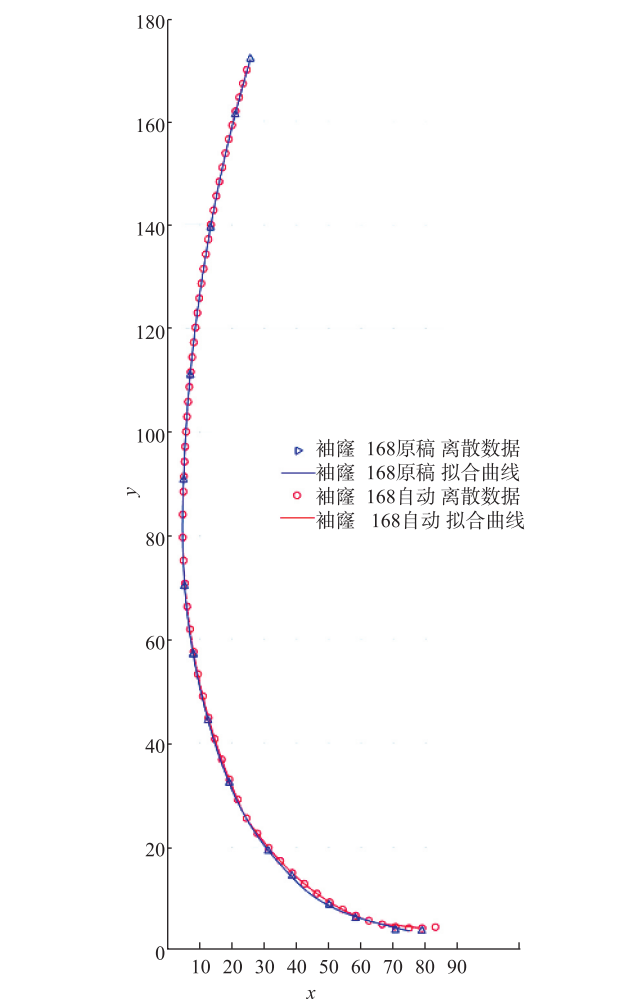


图 18 袖窿曲线真值误差对比

Fig. 18 Comparison of true error of armhole curve

表 5 4 组手工绘制与参数化自动生成版样真值误差的标准差对比  
Tab.5 Standard deviation comparison of truth error of four groups of manually drawn samples and parameterized automatic generated samples

曲线名称	实验参数	误差平方和	确定系数	校正确定系数	均方根误差
前领圈曲线	原稿	10.232 5	0.995 9	0.986 4	3.047 7
	自动	0.088 0	1.000 0	1.000 0	0.062 2
	标准差	5.072 3	0.002 1	0.006 8	1.492 8
袖山曲线	原稿	14.725 0	0.986 2	0.962 1	6.025 0
	自动	0.040 5	1.000 0	1.000 0	0.011 3
	标准差	7.342 3	0.006 9	0.019 0	3.00 69
袖窿曲线	原稿	12.241 3	0.991 5	0.952 3	4.364 5
	自动	0.746 4	0.996 8	0.957 3	0.423 6
	标准差	5.747 5	0.002 7	0.002 5	1.970 5

5 结 语

文中以女式衬衫为研究对象,提出了一种基于 Python 的女式衬衫参数化服装版样自动生成模型,并采用 MATLAB 拟合工具箱 Curve Fitting Tool 进行曲线真值拟合误差比对。

- 1)基于 AutoCAD 绘图软件的圆弧和样条曲线工具,结合 Python 第三方库,编写出 3 种服装版样曲线拟合算法,并可作为车间数控裁剪设备的走刀路径,解决自动化制版技术与工业化生产设备的兼容性和工业化适用性问题。
- 2)通过数据分析科学地确定了女式衬衫服装

版样各控制点与领围、胸围、衣长、袖长 4 个关键参数的线性关系,搭建女式衬衫参数化算法模型。

3)开发女式衬衫参数化版样的自动生成系统,实现女式衬衫参数化版样文件的编辑与传输。

4)采用版样平面图和曲线真值拟合误差进行数据比对,得出版师 CAD 绘制的版样与 Python 参数化自动生成版样在女士衬衫的整体长度及围度表现一致,且自动生成的拟合曲线的各项参数都优于手工制版的曲线。

该参数化版样模型技术可以扩展应用到服装智能化定制生产链,提高服装个性化定制的快速反应,为实现个性化服装生产的大规模定制提供技术支持。在后续的研究中,可通过进一步实验用较少的型值点和控制点,实现较大的拟合精度;除研究标准版样外,对特殊体型版样进行细化分析,丰富版样样式,并通过人体穿着样衣进一步验证版样的准确度。

#### 参考文献:

- [1] 楼政浩. 服装样版放码技术核心算法研究与系统实现[D]. 杭州:浙江大学,2018.
- [2] 章华霞. 服装 CAD 软件中纸样放码方法的对比分析[J]. 天津纺织科技, 2015(4): 32-33.  
ZHANG Huaxia. Comparative analysis of pattern grading methods in clothing CAD software[J]. Tianjin Textile Science and Technology, 2015(4): 32-33. (in Chinese)
- [3] 冀艳波,王玲丽,刘凯旋. 基于数字化三维人体模型的旗袍定制设计[J]. 纺织学报, 2021, 42(1): 133-137, 144.  
JI Yanbo, WANG Lingli, LIU Kaixuan. Custom design of cheongsam based on digital 3D human model[J]. Journal of Textile Research, 2021, 42(1): 133-137, 144. (in Chinese)
- [4] KIM S. Simulation of bespoke garments using parametrically designed patterns[J]. International Journal of Clothing Science and Technology, 2012, 24(5): 350-362.
- [5] YAN J Q, KUZMICHEV V E. A virtual e-bespoke men's shirt based on new body measurements and method of pattern drafting[J]. Textile Research Journal, 2020, 90(19/20): 2223-2244.
- [6] 叶勤文,张皋鹏. 基于 AutoCAD 参数化的个性化服装纸样生成[J]. 纺织学报, 2019, 40(4): 103-110.  
YE Qinwen, ZHANG Gaopeng. Generation of personalized garment pattern based on AutoCAD parameterization[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(4): 103-110. (in Chinese)
- [7] PAPACHRISTOU E, KYRATIS P, BILALIS N. A

comparative study of open-source and licensed CAD software to support garment development learning[J]. Machines, 2019, 7(2): 30.

- [8] 凌雅丽,朱凌轩,邵晓焯,等. 亚洲男士西服基本纸样自动生成系统的建立[J]. 纺织学报, 2020, 41(9): 108-113, 118.  
LING Yali, ZHU Lingxuan, SHAO Xiaoxuan, et al. Development of automatic pattern generation system for Asian men's suits[J]. Journal of Textile Research, 2020, 41(9): 108-113, 118. (in Chinese)
- [9] 张伶俐,张皋鹏. 应用 MATLAB 的服装纸样参数化平面制版[J]. 纺织学报, 2019, 40(1): 130-135.  
ZHANG Lingli, ZHANG Gaopeng. Parametric flat pattern design for clothing based on MatLab[J]. Journal of Textile Research, 2019, 40(1): 130-135. (in Chinese)
- [10] 胡长鹏,张巨俭,刘瑞璞. 基于 VLISP 和 OpenDCL 的西装智能 CAD 系统的实现[J]. 天津工业大学学报, 2010, 29(5): 33-36.  
HU Changpeng, ZHANG Jujian, LIU Ruipu. Realization of intelligent CAD systems of suits production based on VLISP and OpenDCL[J]. Journal of Tianjin Polytechnic University, 2010, 29(5): 33-36. (in Chinese)
- [11] 李永刚. 基于 Python 的计算机软件应用技术研究[J]. 无线互联科技, 2021, 18(11): 36-37.  
LI Yonggang. Research on computer software application technology based on Python[J]. Wireless Internet Technology, 2021(11): 36-37. (in Chinese)
- [12] 王琳,付彦娟,陈亚洲. 一种 AutoCAD 扇形框选新方法[J]. 机械设计与制造, 2019(6): 178-180, 185.  
WANG Lin, FU Yanjuan, CHEN Yazhou. A new fan box selection method in AutoCAD[J]. Machinery Design and Manufacture, 2019(6): 178-180, 185. (in Chinese)
- [13] CHEN F J, ZHANG H D. Approximation calculation of discrete data by arc Splines[J]. Mechanical Research and Application, 2012, 3(7): 23-34.
- [14] 施雯. 代数曲线的双圆弧逼近与等距线构造[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012: 23-26.
- [15] 杨泽林,马凯,吕静. DXF 文件的椭圆(弧)曲线拟合算法的设计与实现[J]. 自动化仪表, 2011, 32(11): 13-16.  
YANG Zelin, MA Kai, LYU Jing. Design and implementation of ellipse(arc) curve fitting algorithm by adopting DXF[J]. Process Automation Instrumentation, 2011, 32(11): 13-16. (in Chinese)
- [16] 郭洁,尚笑梅. 服装样版结构曲线拟合方法综述[J]. 浙江纺织服装职业技术学院学报, 2020, 19(2): 21-25.  
GUO Jie, SHANG Xiaomei. Review of curve fitting methods for clothing pattern structure[J]. Journal of Zhejiang Textile and Fashion College, 2020, 19(2): 21-25. (in Chinese)

(下转第 253 页)