

轮毂检测建模及测量数据处理方法研究

刘业峰^{1,2}, 王继轩², 王富状², 赵元^{1,2}, 孙福英^{1,2}

(1. 辽宁省数控机床信息物理融合与智能制造重点实验室, 辽宁抚顺 113122;

2. 沈阳工学院机械与运载学院, 辽宁抚顺 113122)

摘要: 轮毂作为车辆行驶状况的重要保证, 其复杂的形状结构为其尺寸检测带来困难; 文章提出一种对关键特征打点建模的方法对轮毂的主要尺寸进行检测; 给出了通过打点建立特征图形的的方法, 利用面—圆—圆的方法建立坐标系的具体策略, 给出轮毂主要尺寸测量和数据分析的步骤, 提出解决测量数据误差的方法, 以提高测量的准确性和科学性; 通过多次试验分析, 实现了轮毂宽度、直径、PCD及螺栓孔直径、中心孔直径、偏距、行位误差等主要参数的测量; 文章所提出的测量方法简单易行、测量效率高、结果准确, 可以提高轮毂在生产过程中的检测效率和精度, 对轮毂的生产具有重要意义。

关键词: 三坐标测量机; 轮毂; PC-DMIS; 误差处理

Research on Hub Inspection Modeling and Measurement Data Processing Method

Liu Yefeng^{1,2}, Wang Jixuan², Wang Fuzhuang², Zhao Yuan^{1,2}, Sun Fuying^{1,2}

(1. Liaoning Key Laboratory of Information Physics Fusion and Intelligent Manufacturing

for Grade CNC Machine, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China;

2. College of Mechanical and Vehicle Engineering, Shenyang Institute of Technology, Fushun 113122, China)

Abstract: The hub is an important guarantee for the driving condition of the vehicle, and its complicated shape structure makes it difficult to measure the size. This paper proposes a method for modeling key features to detect the main dimensions of the hub. The method of establishing feature graph by striking is given. The specific strategy of establishing coordinate system by face—circle—circle method is given. The steps of main dimension measurement and data analysis of the hub are given, and the method of solving measurement data error is proposed to improve the measurement accuracy and science. Through many test analysis, the main parameters such as hub width, diameter, PCD and bolt hole diameter, center hole diameter, offset, and row position error are measured. The measurement method proposed in this paper is simple and easy, the measurement efficiency is high, and the result is accurate. It can improve the detection efficiency and precision of the hub in the production process, which is of great significance to the production of the hub.

Keywords: three—dimensional; hub; PC—DMIS; error handling

0 引言

轮毂作为保证车辆行驶安全的重要零件, 在车辆安全行驶过程中具有非常重要的作用^[1]。目前对于轮毂尺寸检测方法主要有三坐标检测技术、数字图像处理技术等^[2-5]。文献 [6] 以图像处理技术为基础, 利用函数对图像进行相应处理, 得到轮毂二值图像, 再利用函数计算出轮毂直径及圆度值。文献 [7] 对三坐标测量与常规测量进行对比, 充

分说明了三坐标适合应用于对复杂曲面零件的测量。根据前瞻产业研究院的报告, 轮毂的市场需求不断增加, 对轮毂检测效率的要求也不断提升^[8]。文献 [9] 对诱导轮的基本外形设计参数进行数据点的采集, 然后根据采集的点云数据利用 UG 软件分别对其进行参数化建模。文献 [10] 以汽车轮毂帽为逆向研究对象, 采用三坐标测量机采集实物原型表面的一组特征数据点, 并运用 Unigraphics 软件对特征数据点进行 NURBS 曲线和曲面拟合, 生成三维原型数字化模型, 此两种方法相似, 虽然精确度高, 但建模过程复杂且时间较长, 不符合当前高效率的要求。文献 [11] 给出了测量时产生粗大误差的处理方案。

目前这些方法测量参数有限, 测量人员技术要求较高, 过程过于复杂。因此, 研究更为简便、准确、快捷的测量方法意义重大。本文利用三坐标测量机采用打点测量的方法并对测量结果进行数据误差分析^[12-14], 优化了此前测量方法的不足。三坐标测量机的优点在于可以快速并准确地评价尺寸数据, 为测量和生产人员反馈与有关生产过程状

收稿日期: 2019-05-24; 修回日期: 2019-06-14。

基金项目: 国家自然科学基金(61603262, 61403071), 辽宁省自然科学基金(20180550418), 沈阳工学院 i5 智能制造研究所基金(i5201701)。

作者简介: 刘业峰(1981-), 男, 山东淄博人, 副教授, 博士, 主要从事智能优化算法及应用、复杂系统建模及优化、智能制造等方向的研究。

赵元(1980-), 男, 辽宁葫芦岛人, 副教授, 硕士, 主要从事机电一体化技术及应用, 智能检测方法, 过程控制等方向的研究。

况的信息。

1 轮毂及测量过程描述

1.1 轮毂描述

轮毂是轮胎内支撑轮胎金属部件。又名轱辘、轮圈、钢圈、胎铃。轮毂根据宽度、直径、材料、成型方式不同而种类繁多。轮毂的主要尺寸参数包括尺寸(轮毂直径)、宽度、PCD与螺栓孔、偏距、中心孔。

利用自动化生产线生产轮毂是一种高效的生产方式。轮毂生产流程如下:

- 1) 由机器人将毛坯抓取至卧式加工中心中, 进行安装面中心圆和螺栓孔及大外圆的粗车和精车。
- 2) 机器人将物料经过清洗、翻转台后再由卧式加工中心进行中心圆和大外圆粗车和精车。
- 3) 机器人将工件经过清洗、翻转台、视觉识别后送至五轴立式加工中心进行中间空间复杂曲面的铣削加工。
- 4) 送至立体仓库编码储存。

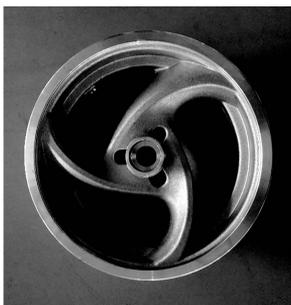


图 1 轮毂

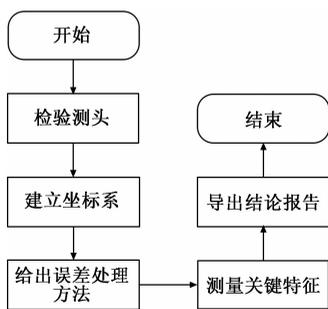


图 2 测量过程图

1.2 测量过程描述

1.2.1 三坐标测量机描述

三坐标测量机主要由以下 4 个部分组成: 主机机械系统、测头系统、电气控制硬件系统、数据处理软件系统(PC-DMIS)。三坐标测量机的工作原理是将是将被测零件放入它允许的三维测量空间, 可以精确地测出零件表面的点在三维空间的坐标位置, 将这些点的坐标经过计算机数据处理, 拟合成测量元素, 如点、线、平面、球、圆柱、圆锥、曲面等。所有形状都是由空间点组成, 所有几何形状的测量都可以归结为空间点的测量, 因此对空间点的坐标进行精确采集是保证几何形状及测量结果准确性的基础。

根据三坐标测量机结构大致可分为移动桥架式、床式桥架式、柱式桥架式、固定桥架式、轴移动悬臂式等诸多种类, 可以使三坐标测量机适用于大部分的工作环境以及测量更为复杂的零件。

三坐标测量机正确使用及注意事项:

- 1) 工件安装前将测头退回安全点, 为被测物体装夹留有充足空间, 避免装过程中出现碰撞。
- 2) 正确装夹, 确保被测物体符合测量机测量要求。
- 3) 所建坐标系符合图纸要求, 确保数据测量结果准确。
- 4) 大型被测物体测量结束后及时搬下工作台, 避免工作台长时间处于承重状态。

1.2.2 测量机的主要技术参数

该实验选用沈阳工学院辽宁省重点实验室的海克斯康三坐标测量机, 系统为 PC-DMIS。

1.3 轮毂测量工艺描述

1.3.1 校验测头流程

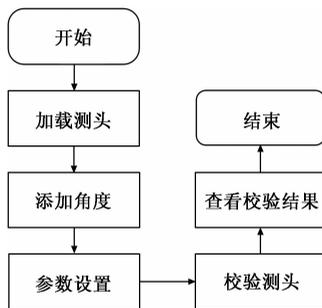


图 3 校验测头流程图

1.3.2 建立坐标系

对轮毂的一个平面进行打点, 在系统中建立特征平面。根据打点结果, 系统生成特征图形如下:

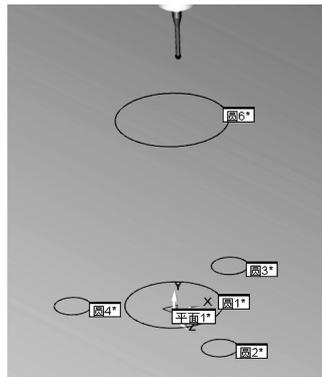


图 4 轮毂测量孔的标定

根据右手定则, 建立笛卡尔直角坐标系, 以 X、Y、Z 三条互相垂直的轴线和三条轴线相交的原点组成三维笛卡尔直角坐标系。

建立坐标系过程如下:

- 1) 测量平面: 平面 1、圆 1、圆 2;
- 2) 选择工作平面 Y 正;

表 1 三坐标测量机参数

型号	行程范围/mm			外形尺寸/mm				测量空间/mm		平台/mm		支撑/mm		被测工件 最大重量/kg	机器重 量/kg
	X	Y	Z	LX	LX1	LY	LZ	DZ	DZ1	PH	PY	SY1	SY2		
09.12.08	900	1200	800	1450	1340	2165	2946	110	946	700	1910	455	1000	1300	1650
09.15.08	900	1500	800	1450	1340	2465	2946	110	946	700	2210	540	1130	1500	1850
09.20.08	900	2000	800	1450	1340	2965	2946	110	946	700	2710	680	1350	1800	2250

3) 打开创建坐标系对话框: 插入一坐标系—新建;

4) 选择平面 1, Y 负—找正;

5) 选择圆 1 圆 2, 旋转到 X 正—围绕 Y 负—旋转;

6) 选择: 圆 1—X、Z—原点, 平面 1—Y—原点, 点击“确定”创建坐标系 A1;

7) 检查坐标系建立是否正确。

2 数据误差处理方法

任何测量仪器的测量都会存在一定误差, 测量误差主要分为随机误差、系统误差和粗大误差。测量误差的主要来源有计量器具的误差、测量方法的误差和测量人员操作过程的误差。在假定测量列中不存在系统误差和粗大误差的前提下, 给出以下随机误差分析处理方法:

1) 算术平均值计算 假定该测量列的测量值分别为 $x_1, x_2, x_3 \dots x_n$, 计算该测量列的算术平均值, 则算术平均值为:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}$$

2) 计算残余误差 残余误差 v_i 为测量结果与算术平均值的差值, 每个测量列都有与之对应的残余误差列:

$$v_i = x_i - \bar{x}$$

残余误差的两个基本特点分别为残余误差的代数和为零, 即 $\sum v_i = 0$; 和残余误差的平方和最小, 即 $\sum v_i^2$ 为最小。

3) 计算标准差 (单次测量精度) 标准差的计算常用贝塞尔 (Bessel) 公式完成, 公式如下:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N-1}}$$

根据需要, 单次测量结果表达式为:

$$x_{ei} = x_i \pm 3\sigma$$

4) 计算测标准偏差:

该标准偏差为测量列算术平均值的标准偏差, 在一定条件下, 对同一个被测几何量进行多组数据测量 (每组测量次数为 N 次), 则对应的每组 N 次测量结果都有一个与其对应的算术平均值。可以用标准偏差来描述出多组算术平均值的分散程度并作为评定标准。根据误差理论, 测量列的算术平均值的标准偏差 σ_x 与该测量列的单次测量结果的标准偏差 σ 的关系如下:

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}}$$

5) 计算测量限制误差

测量列算术平均值的测量限制误差为:

$$\delta_{lim(x)} = \pm 3\sigma_x$$

6) 给出多次测量结果的表达式, 计算出多次的测量结果:

$$x_c = \bar{x} \pm 3\sigma_x$$

在实际测量中, 系统误差是影响测量结果准确性的一大重要因素。为消除系统误差, 提高测量的精确度与准确性, 应从实验根源上消除系统误差。测量人员对测量装置、环境、方法进行的研究分析后, 找出可能产生误差的根源后, 采用调整测量装置、改善测量环境、选择观察位置消除视差等方法进行消除。

粗大误差: 将一定条件下进行实验时所超出规定误差值的误差称为粗大误差, 也可以称为寄生误差和粗误差。粗大误差具有数值大, 数量少、突发性强的特点, 所以应在根本上避免粗大误差的出现。常见检测粗大误差的方法有数据探测法和选权迭代法^[11]。

产生粗大误差的原因: 1) 客观因素: 电压不稳定、机械装置运行不稳定、外界环境干扰、仪器故障或测量时装夹不稳定导致零件相对位置改变等。2) 主观因素: 实验操作时出现失误、实验器具本身故障、记录数据过程出现错误等。在保证外界条件的稳定与测量器具正常之后, 提高测量人员的责任心与规范操作过程时避免粗大误差的有效方法。如果实验结束后发现有粗大误差产生, 建议根据拉依达准则 (准则) 进行判别, 在数据处理时将产生的粗大误差予以排除。拉依达准则适用于测量次数较多的情况下, 当测量数据符合或近似正态分布时, 粗大误差出现的概率仅为 0.27%, 即当进行 370 次实验时才会出现一次粗大误差。

根据给出的数据误差处理方法, 对轮毂宽度的测量数据进行分析:

轮毂宽度俗称为 J 值, 轮毂的宽度直接影响到轮胎的选择, 同样尺寸的轮胎, J 值不同, 选择的轮胎扁平比和宽度也就不同。对轮毂两侧面分别进行打点, 通过锁定 X、Z 两轴使两点在三维空间中保持最短距离, 此距离则为轮毂的宽度。取多组数据进行分析从而减小误差, 保证测量的准确性。

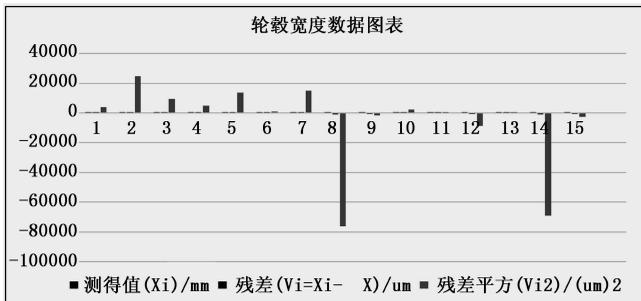


图 5 轮毂宽度数据图

表 2 轮毂宽度参数

测量序号	测得值 (x _i)/mm	残差 (v _i = x _i - x̄)/μm	残差平方 (v _i ²)/(μm) ²
1	83.64708	+61.958	+3838.793764
2	83.74270	+157.578	+24830.826084
3	83.68145	+96.328	+9279.083584
4	83.65574	+70.618	+4986.901924
5	83.70164	+116.518	+13576.444324
6	83.60444	+19.318	+373.185124
7	83.70812	+122.998	+15128.508004
8	83.30887	-276.252	-76315.167504
9	83.54528	-39.842	-1587.384864
10	83.63323	+48.108	+2314.379664
11	83.61259	+27.468	+754.491024
12	83.49089	-94.232	-8879.669824
13	83.58831	+3.188	+10.163344
14	83.32238	-262.742	-69033.358564
15	83.53411	-51.012	-2602.224144
算术平均值为 83.585122		∑v _i =0	∑v _i ² = -83025.02806

1) 判定定值系统误差 计量器具已经检定、测量环境得到有效控制, 可以认为测量列中不存在定值系统误差。

2) 求测量列算术平均值:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 83.585122(\text{mm})$$

3) 计算残差 各残差的数值经计算后列于表中。按残差观察法, 这些的符号大体上正、负相间, 没有周期性变化, 因此可以认为测量列中不存在变值系统误差。

4) 计算测量列单次测量值的标准偏差:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N v_i^2}{N-1}} \approx 77(\mu\text{m})$$

5) 判断粗大误差 按照拉依达准则, 测量列中出现两组绝对值大于 3σ [3 * (-77) = -231] 的残差, 予以剔除。

6) 计算测量列算术平均值的标准偏差:

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \approx 19.96(\mu\text{m})$$

7) 计算测量列算术平均值的测量极限误差:

$$\delta_{lim(x)} = \pm 3\sigma_x = \pm 59.88(\mu\text{m})$$

8) 确定测量结果:

$$x_e = \bar{x} \pm 3\sigma_x = 83.585122 \pm 59.88(\mu\text{m})$$

3 轮毂数据测量实现

该实验在沈阳工学院辽宁省重点实验室进行, 实验所用轮毂为该实验室自动化生产线生产制造。

3.1 数据测量实现过程

根据图纸中给出的主要尺寸进行测量。

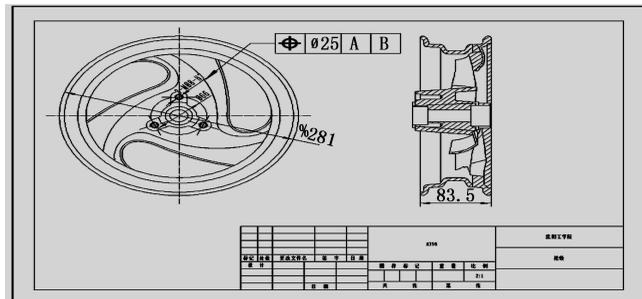


图 6 轮毂图纸

测量及形位误差分析步骤如下:

- 1) 依次对需要测量的关键特征进行打点;
- 2) 在软件系统中查看打点数据;
- 3) 打开“位置”评价对话框;
- 4) 在特征选择框中选择被评价特征;
- 5) 选择评价类型;
- 6) 单击创建;
- 7) 单击“同心度”对话框, 评价中心孔同心度;
- 8) 查看尺寸测量结果和形位误差分析结果。

3.1.1 中心孔直径

中心孔是将轮毂与车辆固定连接的部分, 是轮毂中心与轮毂同心圆的位置, 这里的直径尺寸可影响到轮毂安装时轮圈几何中心和轮毂几何中心是否吻合。

图 1=特征/圆, 直角坐标, 内, 最小二乘方

理论值/<11.2178, 231.78157, -349.91941>, <0, 1, 0>

31.9489

实际值/<11.2178, 231.78157, -349.91941>, <0, 1, 0>

31.9489

3.1.2 PCD 及螺栓孔直径

本文选用轮毂为 3 个螺栓孔。

表 3 螺栓孔直径数据

测量序号	直径测得值/mm
圆 2	11.98854
圆 3	11.99309
圆 4	11.99336

PCD 的专业名称叫节圆直径, 是指轮毂中央的固定螺栓间的直径, 在选择轮毂的时候, PCD 是最重要的参数之一。建议通过采用 PCD 测量盘和 PCD 量规进行测量或者图像处理技术计算轮毂节圆直径^[2]。

3.1.3 轮毂直径

轮毂的直径为轮毂的基本尺寸, 是选择轮毂时主要的参考数据。

图 5=特征/圆,直角坐标,外,最小二乘方

理论值/<11. 26151, 241. 73042, - 350. 02944>, <0, 1, 0>
281. 21377

实际值/<11. 26151, 241. 73042, - 350. 02944>, <0, 1, 0>
281. 21377

3.2 偏距

偏距俗称 ET 值, 轮毂螺栓固定面与几何中心线(轮毂横剖面中心线)之间的距离。由测量结果(表 4)可以得出安装面到轮毂弧面的距离为 8.986 96 mm, 再根据得到的轮毂宽度可计算出轮毂偏距为:

$$X_{ET} = 8.98696 + \frac{1}{2} * (\bar{X}) = 8.98696 + 41.792561 = 50.779521(\text{mm})$$

3.3 形位误差分析

轮毂的形位误差主要分析其前后中心孔的同心度, 同心度为同轴度的一种特殊形式。同心度的误差即为圆心的偏移程度, 直接影响着工件的配合精度和使用情况。根据评价结果(表 5)可以得出该轮毂的同心度达到合格标准。

表 4 螺栓固定面与几何中心线间距离数据

轮毂螺栓固定面与几何中心线之间的距离						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M	8.98696	0.01000	-0.01000	8.98696	0.00000	0.00000

表 5 同心度数据

FCF 同心度 1 = 同心度 OF 圆 6 单位=毫米						
AX	NOMINAL	+TOL	-TOL	MEAS	DEV	OUTTOL
M	0.00000	0.01000	0.00000	0.00160	0.00160	0.00160

4 结束语

轮毂是车辆的重要组件之一, 文中提出改变传统的测量方式, 利用海克斯康基于 PC-DMIS 系统的三坐标测量机使用打点测量的方法对轮毂的各项尺寸进行精确测量, 并对可能存在的各种误差进行数据分析提高测量精度。此方法得到测量结果准确, 为轮毂的质量监测提供了更好的选择。随着制造业的发展, 加工精度不断提高, 对零件的

(上接第 33 页)

[7] Kamrul Hasan, Nova Ahmed. Android Mobile Application: Remote Monitoring of Blood Pressure [J]. IEEE, 2012, pp. 215 - 219.

[8] Hasna Boudra, Abdel Obaid, Anne Marie Amja. An Intelligent Medical Monitoring System Based on Sensors and Wireless Sensor Network [J]. IEEE, 2014, pp. 1650 - 1656.

[9] 熊 狮, 吴效明. 基于 Android 系统的生理数据蓝牙传输技术 [J]. 中国医学物理学杂志, 2012, 29 (6): 3801 - 3803.

[10] 虞麟之. 基于无线可穿戴式心率仪及异常心率数据检测的单片机模型设计与实现 [D]. 上海: 上海师范大学, 2018.

[11] 肖 强. 心脏骤停患者的急救治疗效果评价 [J]. 心血管防护知识, 2016, 12: 79 - 80.

检测也提高了难度。但由于操作难度较高, 无法更高效率的测量节圆直径, 后续会继续研究节圆直径的有效测量方法, 提高测量精度, 简化测量过程。

参考文献:

[1] 陈亚军, 郭建峰. 重卡轮毂关键尺寸的检测 [J]. 设备管理与维修, 2017 (12): 112 - 113.

[2] 余红娟, 徐新民, 周长明, 等. 数字图像处理技术在铝轮毂 PCD 值检测中的应用 [J]. 科技通报, 2008 (1): 119 - 122, 128.

[3] 李碧柳. 随钻测井用涡轮发电机叶轮型面检测方法研究 [J]. 石油工业技术监督, 2018, 34 (5): 55 - 57.

[4] 刘业峰, 孙福英, 张 磊, 等. 基于最小二乘的复杂曲面检测方法研究 [J]. 工具技术, 2018, 52 (12): 131 - 135.

[5] 王晓飞, 刘胜兰, 张丽艳, 等. 整体叶轮三坐标测量机的分步精细定位方法 [J]. 南京理工大学学报, 2012, 36 (6): 1026 - 1030.

[6] 李晓斌. 车辆轮毂直径和圆度的图像法检测 [J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2016, 36 (7): 529 - 532.

[7] 张礼才. 关节臂在矿用减速器测量中的应用 [J]. 煤炭技术, 2017, 36 (11): 257 - 259.

[8] 前瞻产业研究院. 中国汽车轮毂行业产销需求与投资预测分析报告 [R]. 2014.

[9] 苟建峰. 诱导轮的逆向建模和数控加工研究 [J]. 制造技术与机床, 2016 (8): 120 - 124.

[10] 袁 锋. 基于 NURBS 曲面重构的汽车轮毂帽逆向设计 [J]. 机械工程师, 2005 (12): 122 - 123.

[11] 刘文生, 唐守路. 稳健估计的两种粗差探测方法 [J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2016, 35 (1): 54 - 58.

[12] 王宇平. 公差配合与几何精度检测 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.

[13] 中国国家标准化管理委员会. GB/t13319 - 2003 产品几何技术规范 (GPS) 几何公差位置度公差注法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.

[14] 王晓方, 张 福, 马春峰, 等. 互换性与技术测量 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2016.

[12] 黎友琴, 邱全煌, 张新斌, 等. 心搏骤停患者心肺复苏成功的影响因素分析 [J]. 广东医科大学学报, 2018, 36 (5): 600 - 602.

[13] 郭力萌. 基于统计信号处理的时间序列预测模型选择方法研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2015.

[14] 王君婷. 基于随机森林回归模型的债券发行信用利差影响因素分析 [D]. 上海: 上海社会科学院, 2018.

[15] 李平湘, 刘致曲, 杨 杰. 利用随机森林回归进行极化 SAR 土壤水分反演 [J]. 武汉大学学报, 2019, 44 (3): 407 - 410.

[16] 刘仁明, 毛建旭, 厉艳琨. 基于随机森林回归的人脸特征点定位 [J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30 (5): 687 - 691.