

针对铸铁管件毛刺的机器人打磨技术研究

李国栋^{1, 2}, 梁宇飞^{1, 2}, 陈振亚^{1, 2}, 文志浩^{1, 2}

(1. 中北大学机械工程学院, 山西太原 030051; 2. 山西省特殊环境下机器人与智能装备技术联合实验室, 山西太原 030051)

摘要: 以铸铁排水管件毛刺的清理为研究对象, 针对其生产过程中人工打磨向智能化加工的技术改革需求, 利用ABB RobotStudio软件设计、构建了一机多工位的机器人打磨工作站。基于UG软件完成打磨工作站三维模型的建立, 并导入RobotStudio软件中; 使用机器人模型库中IRB4600-60完成工业生产过程, 构建气动夹具和设计夹指机械结构, 以满足相应的动作需求, 并设计对应的姿态动作; 为夹指机械结构、砂轮打磨机和砂带打磨机创建Smart组件和I/O信号连接实现动态效果, 并设定机器人和各机械结构Smart组件的工作站逻辑; 设计好虚拟仿真工作站后, 对工作站进行了离线编程和仿真, 最后进行现场工作站的打磨, 验证了机器人打磨效果优于人工打磨。

关键词: 铸铁管件; 打磨; 机器人; RobotStudio; 仿真

作者简介:

李国栋 (1995-), 男, 工程硕士, 主要研究方向为机器人打磨技术。电话: 18434361101, E-mail: nucligd@163.com

通讯作者:

陈振亚, 男, 副教授, 博士, 硕士生导师。电话: 13935181153, E-mail: czy1393518@163.com

中图分类号: TP249

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2022)

01-0094-05

基金项目:

国家科学技术部科技发展专项计划(中央引导地方)(YDZX20191400002765); 山西省科学技术厅重点研发计划(国际科技合作)(201903D421006)。

收稿日期:

2021-10-26 收到初稿,

2021-11-16 收到修订稿。

随着社会的发展进步, 制造业中对智能化加工需求越来越突出。铸铁排水管件作为目前排水管件的首选, 大部分企业在管件毛刺的清理工序中多采用人工搬运靠近砂轮以进行毛刺清理。在铸铁管件生产企业中使用机器人代替人工打磨, 可以在减轻操作工人劳动强度的同时缓解企业用工难题, 并且利用机器人准确性高的优点, 管件打磨质量一致性高、加工效率高。

制造业各行业都在进行相应的技术改革, 打磨机器人工作站的虚拟仿真技术对现场工作站加工效率的提高和可行性分析具有重要的意义, 可降低企业的投资风险和设备维护成本^[1-2]。国内工业机器人的应用发展迅速, 孙立新等人基于RobotStudio软件搭建了机器人分拣工作站并进行了离线编程和仿真, 为现场工作站的设计和生提供了可行性参考^[3]。高茂源等人基于RobotStudio软件设计了码垛虚拟工作站, 利用机器人同时为4台数控机床完成上下料工作, 并进行了仿真过程的优化分析, 验证了CPSO-BP神经网络收敛速度更快的观点^[4]。

本文通过对机器人应用领域的设计了铸铁管件打磨机器人工作站, 包括上料/下料台、砂轮打磨机、砂带打磨机和管件换向台等外围机械单元, 以及IRB 4600-60机器人本体和控制器。应用RobotStudio软件进行打磨机器人工作站的离线编程和仿真可优化现场工作站的整体布局, 分析其生产节拍, 解决机器人运动路径存在的干涉问题, 为工作站管件毛刺清理提供高效的打磨方案。ABB机器人支持现场编程和离线编程两种编程方式, 在虚拟仿真工作站中进行离线编程, 可减少现场工作站的停机维护时间, 同时减少编程人员的现场操作时间。

1 打磨过程分析

本文所研究观察口管件的三维模型如图1所示。该管件需打磨4个部位的毛刺, 分别不规则的出现在2个轴向端口、1个径向端口、3条合模线的位置, 其中, 轴向端口1和轴向端口2毛刺出现位置为对称形式; 合模线1和合模线2出现位置为对称形式。径向端口为管件中间部位, 合模线1、合模线2和合模线3出现位置为模具动模和静模分型面位置, 仅出现在管件外圆表面^[5]。

设计机器人打磨工作站时, 因3个合模线毛刺位置为管件外圆表面, 需保证管

件外圆表面圆弧度，故先采用砂轮进行合模线毛刺第一步清理，再利用砂带的柔性进行二次清理。3个端口毛刺垂直靠近砂轮打磨可以一次性完成清理，因2个轴向端口结构对称，将其放在同一砂轮打磨工位完成打磨，只需将夹具夹取的管件轴向端口进行换向即可完成这两个对称端口毛刺的清理。图2为工作站打磨流程。

2 建立仿真环境

2.1 建立仿真环境

RobotStudio软件具有三维可视化和能够根据用户的选用从ABB模型库调用机器人的三维模型的功能，且可以导入用户在三维建模软件中设计的模型，然后在RobotStudio软件中创建机械装置。从布局创建机器人系统，利用Smart组件和I/O信号控制进行离线编程，实现打磨工作的动态仿真设计^[6]。首先导入在UG软件中创建的工作站除机器人本体以外的三维布局，然后从ABB模型库导入本文所选择的IRB 4600-60/2.05机器人本体创建机器人系统。图3为打磨工作站RobotStudio仿真环境^[7-8]。

2.2 建立工具坐标系

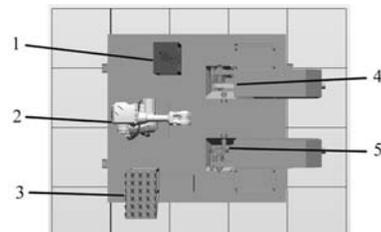
根据图1所示的观察口管件的结构，管件轴向长度215 mm，内孔直径100 mm，选用内撑式结构夹具，使用三抓六指进行夹取管件，因管件径向端口需夹指夹在管件内壁，非端口位置。该夹具使用气缸推力通过楔块推杆作用，实现夹指撑开，通过复位弹簧弹力作

用，实现夹指收缩。图4为选用的管件内撑式气动夹具。

将管件内撑式夹具三维模型导入RobotStudio软件，首先通过在夹具三抓中心点建立框架，该框架原点为机器人工具坐标系的TCP，因工作站外部加装防护罩需在内部面向机器人操作机器人示教器，故框架坐标系方向与大地坐标系方向相反，然后使用建模窗口下创建工具命令使用夹具三维模型和框架建立图5所示的工具坐标，最后将夹具安装在机器人第六轴法兰盘。

2.3 建立工件坐标系

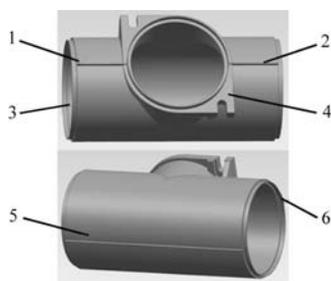
工件坐标系设定可以方便编程，故本文在上料/下料台、砂轮、换向台和砂带四个工位分别设置图6所示对应的工件坐标系。上料/下料台、砂轮和砂带三个工位工件坐标系与大地坐标系方向一致，因换向台管件摆放姿态与大地坐标系X轴倾斜，故将大地坐标X-Z平面旋转相应角度建立换向台工位的工件坐标系。



1. 转向台 2. 机器人 3. 管件取料/放料台
4. 砂带打磨机 5. 砂轮打磨机

图3 打磨工作站RobotStudio仿真环境

Fig. 3 RobotStudio simulation environment of the grinding workstation



1. 合模线1 2. 合模线2 3. 轴向端口1
4. 径向端口 5. 合模线3 6. 轴向端口2

图1 观察口管件三维模型

Fig. 1 Three dimensional model of the observation port pipe fittings

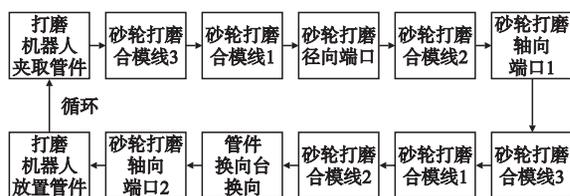
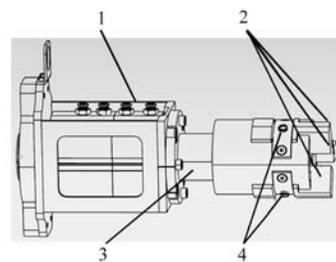


图2 管件打磨流程

Fig. 2 Pipe fitting grinding process



1. 气缸 2. 夹指 3. 复位弹簧 4. 楔块推杆

图4 管件内撑式气动夹具

Fig. 4 Inner supporting pneumatic clamp for the pipe fittings



图5 安装机器人夹具

Fig. 5 Installation of the robot fixture

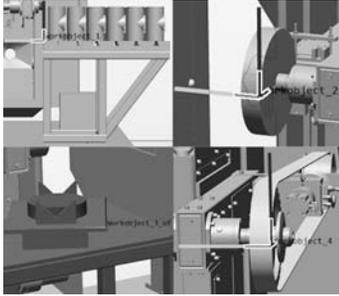


图6 工作站工件坐标系

Fig. 6 Workpiece coordinate system of the workstation

3 工作站系统设计

3.1 工作站动态 Smart 组件设计

在RobotStudio软件中搭建的仿真工作站，通过Smart组件的建模实现气动夹具撑紧/松开、砂轮旋转和砂带打磨机旋转的动态效果。图7为气动夹具撑紧/松开Smart组件，在现场工作站中选择电磁阀控制夹指，长时间置高电平会使电磁阀发烫，影响使用寿命，故该Smart设计输入信号Di1和Di2，输出信号Do1和Do2。通过PoseMover组件控制夹指机械结构使夹爪撑紧，在三个夹抓上分别安装LineSensor传感器，检测夹指是否撑紧管件，与管件发生接触，当三个LineSensor传感器检测到与管件发生接触，说明撑紧管件，通过LogicGage组件设置为与门收集传感器输出信号，只有传感器同时输出高电平LogicGage组件才会输出高电平，用Attacher组件将管件安装在气动夹具上，管件安装完成输出高电平作用于LogicSRLatch组件，传输到输出信号Do1，使其保持为高电平，用于向控制器传输管件已夹紧的信息。通过PoseMover组件控制夹指机械结构使夹

爪松开，LineSensor传感器和LogicGage与门检测管件未与气动夹具发生干涉，Detacher组件拆除安装完成，输出高电平通过LogicSRLatch组件与Do2连接，用于向控制器传输管件已拆除的信息^[9-11]。

本文设计的打磨工作站为机器人夹取待打磨件靠近砂轮和砂带进行毛刺清理，在上料台工位和管件换向台工位需设置Smart组件实现相应动作。砂轮和砂带打磨工位分别需要设置Smart组件实现旋转。

3.2 I/O 信号连接

现场打磨机器人工作站利用三菱PLC与机器人I/O板块进行信号传输，控制电磁阀的换向，从而控制伸缩气缸实现夹具的撑紧和松开。本文设计的虚拟仿真工作站利用Smart组件实现PLC的控制功能，达到与机器人通讯设计的要求。通过设置机器人工作站逻辑将Smart组件与机器人系统配置的I/O信号进行配置^[12]。表1为打磨机器人工作站的I/O信号。

表1 打磨机器人工作站的I/O信号
Table 1 I/O signals of the grinding robot workstation

序号	信号名称	含义	类型
1	Do1	夹指撑紧	Digital Output
2	Do2	夹指松开	Digital Output
3	Do3	砂轮旋转	Digital Output
4	Do4	砂带旋转	Digital Output
5	Di1	夹指撑紧完成	Digital Input
6	Di2	夹指松开完成	Digital Input

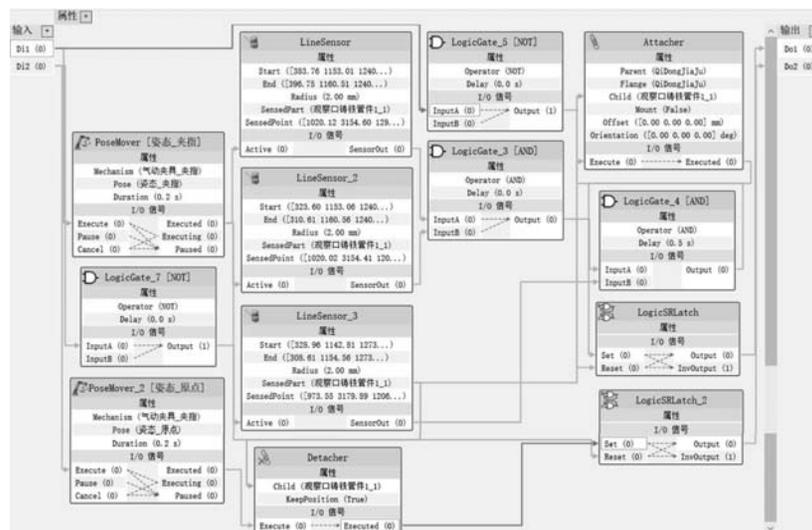


图7 气动夹具撑紧/松开Smart组件

Fig. 7 Pneumatic fixture holding / loosening Smart assembly

4 工作站编程与仿真

4.1 机器人运动路径规划

上料/下料台、砂轮、换向台和砂带四个工位固定并分别设计了工件坐标系，由于现场安装有误差，可通过调整工件坐标系的位置进行程序的快速修改。工业机器人工作开始和完成工作各关节角度坐标均为(0, -30°, 30°, 0, 90°, 0)。工业机器人从该点到达取料台从管件轴向端口2完成夹取，砂轮打磨机和砂带打磨机旋转，机器人靠近砂轮完成轴向端口1、径向端口和合模线1、2、3的加工；机器人靠近砂带打磨机进行合模线1、2、3的二次清理；机器人在转向台夹取管件另一端；机器人靠近砂轮进行轴向端口2的打磨；机器人将成品放到放料台，如此循环动作。图8中箭头指示为机器人到达每个工件坐标系的运动路径。

4.2 机器人程序的编制

在仿真工作站中完成I/O信号的配置，示教目标点并进行程序编写，可以实现相应的动作。本文使用工具坐标和不同的工件坐标编程相应的例行程序，通过主程序调用例行程序的方式方便程序的理解与后续的修改^[13-14]。机器人工作站的主程序如下：

```
PROC main ( )
Routine_fuwei;
! 将输入输出信号置0; 变量置0
FOR a FROM 0 TO 5 DO
FOR b FROM 0 TO 3 DO
Routine_qu;
! 在取料台夹取管件
Routine_shalun;
! 在砂轮打磨机工位打磨
Routine_shadai;
! 在砂带打磨机工位打磨
Routine_zhuanxiang;
! 在管件转向台更改夹取方向
Routine_shalun2;
! 在砂轮打磨机工位打磨
Routine_fang;
! 在放料台放置管件
i : = i + 1;
ENDFOR
i : = 0;
j : = j + 1;
ENDFOR
! FOR函数嵌套实现批量加工
Routine_fuwei;
! 批量完成后输入输出信号置0; 变量置0
```

本文通过输出信号Do1控制Smart组件完成夹具撑紧管件，使用输入信号Di1检测夹具与管件是否完成

夹取动作，Di1高电平为夹取完成继续完成后续打磨指令，低电平为未夹取则机器人停止运动。夹具松开例行程序的设计原理和夹具撑紧例行程序相同，由输出信号Doi和输入信号Di1完成夹具松开管件。机器人工作站的夹具撑紧例行程序如下：

```
Routine_chengjin ( )
Set Do1;
! Do1为高电平，管件撑紧
WaitTime 1;
IF Di1 = 0 THEN
Stop;
ENDIF
! IF函数通过Di1信号检测撑紧完成情况
Reset Do1;
! 将Do1置为低电平
机器人工作站的夹具松开例行程序如下：
Routine_songkai ( )
Set Do2;
! Do2为高电平，管件松开
WaitTime 1;
IF Di2 = 0 THEN
Stop;
ENDIF
! IF函数通过Di2信号检测松开完成情况
Reset Do2;
! 将Do1置为低电平
```

5 机器人打磨实验

完成RobotStudio软件的离线编程和仿真，通过以太网或U盘将程序导入现场工作站，然后完成坐标系和目标点的示教工作，即可进行现场工作站的调试，减少现场工作站的停机调试时间和编程技术人员的工作量。设计好现场工作站的工作环境，进行了管件的毛刺清理，对比人工打磨和机器人打磨的效果，如图9所示。可以看出，图上部分机器人打磨结果更加平整，管件圆弧度高，而下部分人工打磨结果显示管件外圆磨出了平面，不如机器人打磨效果好。本文设计的打磨工作站根据实际生产需求进行程序修改，可完成内径100 mm的一系列铸铁排水管件的打磨加工需求。

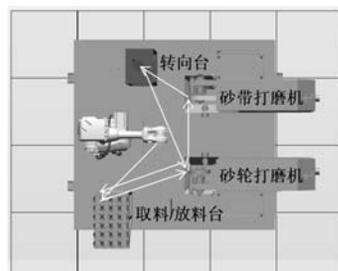


图8 机器人运动路径

Fig. 8 Motion path of the robot

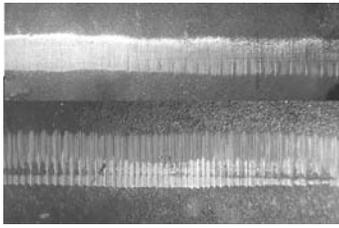


图9 人工打磨和机器人打磨对比图

Fig. 9 Comparison photos between manual grinding and robot grinding

6 结论

(1) 结合三维建模软件UG强大的建模功能中完

成虚拟仿真工作站的模型搭建, 保存为prt格式文件导入RobotStudio软件搭建仿真机械单元, 并为气动夹具设置动态机械结构, 实现了夹指的撑紧和松开。

(2) 在RobotStudio软件中使用Smart组件代替PLC的控制功能, 为气动夹具、砂轮打磨机和砂带打磨机分别设定Smart组件和I/O信号连接实现其动态效果, 完成了虚拟工作站仿真环境的搭建。

(3) 在虚拟打磨工作站中进行了打磨路径规划和离线编程, 并进行了现场工作站的打磨效果验证。结果显示, 机器人打磨效果优于人工打磨, 为企业进行自动化改革提供了技术支持。

参考文献:

- [1] 毛芳芳, 卢佳佳. 虚拟仿真技术在工业机器人系统开发中的应用 [J]. 景德镇学院学报, 2020, 35 (6): 30-33.
- [2] 郝建豹, 蔡文贤. 柔性制造生产线仿真设计与关键数据标定 [J]. 机床与液压, 2021, 49 (15): 52-56.
- [3] 孙立新, 高菲菲, 王传龙, 等. 基于RobotStudio的机器人分拣工作站仿真设计 [J]. 机床与液压, 2019, 47 (21): 29-33.
- [4] 高茂源, 王好臣, 丛志文, 等. 基于RobotStudio的机器人码垛优化研究 [J]. 组合机床与自动化加工技术, 2020 (11): 38-41.
- [5] 李国栋. 基于机器人工作站铸铁管件打磨关键技术的研究 [D]. 中北大学, 2021.
- [6] 魏鹏飞. 环盘类零件机器人自动化焊接系统设计与仿真 [D]. 大连理工大学, 2016.
- [7] 祝世兴, 高哲晟. 基于RobotStudio的机器人在线打磨工作站设计研究 [J]. 制造技术与机床, 2021 (8): 97-102.
- [8] 冯凌云, 刘凯. 虚实结合的工业机器人实践教学平台开发与应用 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38 (5): 223-229.
- [9] 李慧. 基于RobotStudio的工业机器人打磨应用设计与仿真 [J]. 机械工程与自动化, 2020 (2): 42-44.
- [10] 牛腾飞, 姚宝国. 工业机器人切削加工工作站设计与任务仿真 [J]. 制造技术与机床, 2019 (10): 44-48.
- [11] 江天琦, 许四祥, 郝奇, 等. 基于Robot Studio的机器人等离子去板坯毛刺工作站设计与仿真 [J]. 重庆理工大学学报 (自然科学), 2018, 32 (8): 83-87.
- [12] 冯凌云, 刘凯. 虚实结合的工业机器人实践教学平台开发与应用 [J]. 实验技术与管理, 2021, 38 (5): 223-229.
- [13] 郝建豹, 林子其, 吴新丽. 基于RobotStudio的异形轴加工生产线仿真设计 [J]. 制造技术与机床, 2020 (9): 83-87.
- [14] 肖全, 鞠全勇. 基于RobotStudio的机器人搬运工作站设计与路径仿真 [J]. 机电技术, 2020 (4): 33-36.

Research on Robot Grinding Technology for Burr of Cast Iron Pipe Fittings

LI Guo-dong^{1,2}, LIANG Yu-fei^{1,2}, CHEN Zhen-ya^{1,2}, WEN Zhi-hao^{1,2}

(1. School of Mechanical Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, Shanxi, China; 2. Joint Laboratory of Robot and Intelligent Equipment Technology in Special Environment of Shanxi Province, Taiyuan 030051, Shanxi, China)

Abstract:

In this paper, the burr cleaning of cast iron drainage pipe fittings was taken as the research object. According to the technical reform demand from manual grinding to intelligent machining in the production process, a robot grinding workstation with one machine and multiple stations was designed and built by using ABB RobotStudio software. The 3D model of the grinding workstation was built based on UG software and imported into RobotStudio software; Irb4600-60 in the robot model library was used to complete the industrial production process, create pneumatic fixture and design finger clamping mechanical structure to meet the corresponding action requirements, and design the corresponding attitude action; Create smart components and I/O signal connections for pinch finger mechanical structure, grinding wheel grinder and abrasive belt grinder to achieve dynamic effects, and set the workstation logic of robot and smart components of each mechanical structure. After designing the virtual simulation workstation, the workstation was programmed and simulated offline. Finally, the grinding of the field workstation was carried out. It is verified that the grinding effect of the robot is better than that of the manual grinding.

Key words:

cast iron pipe fittings; polish; robot; RobotStudio; simulation