

# 电动汽车机壳低压铸造机器人下芯设计与编程

韩伟, 陈宇姗, 刘建光, 童洲

(华南理工大学广州学院机械工程学院, 广东广州 501800)

**摘要:** 针对电动汽车铝合金水冷机壳低压铸造连续生产过程中, 需要在高温状态的型腔内手工装入螺旋砂芯的现状, 规划使用机器人抓取螺旋砂芯并精确安装至型腔内的技术方案, 设计带有视觉检测的锁芯传送带和内置接近觉感应器的夹持组件, 实现螺旋砂芯在传送带上的准确定位和柔和抓取; 使用激光扫描测距方式保证螺旋砂芯在型腔底座上准确安装定位; 并通过示教编程方式编制机器人抓取和放置砂芯的动作程序, 减轻高温工作劳动强度, 提高低压铸造生产效率和生产质量。

**关键词:** 高温下芯; 夹持组件; 锁芯底座; 下芯定位; 示教编程

在电动汽车电动机水冷机壳低压铸造生产中, 由于形成机壳内部冷却水道的螺旋砂芯形状复杂, 砂芯在型腔的定位要求较高。目前, 多数企业仍然使用手工方法进行下芯操作, 即在合模前工人手工将砂芯在高温状态下放入型腔并进行定位安装。这种方法除了高温工作强度大、效率低之外, 还有较大尺寸的水冷机壳螺旋砂芯体积较大, 形状不规则, 使用手工的方法很难准确放入型腔, 难以保证安装精度和生产速度要求的困难。如图1所示, 制备成形的砂芯呈数圈螺旋形状, 强度十分有限, 频繁地手工搬运容易造成损坏, 生产效率低而且不能保证质量稳定<sup>[1]</sup>。因此, 生产中亟待设计自动化设备替代手工操作的方法, 实现机器人抓取水冷机壳螺旋砂芯并精确安装至型腔内的工作过程, 提高生产效率并稳定砂芯安装精度<sup>[2]</sup>。

## 1 机器人下芯技术方案和 workflows

在水冷机壳低压铸造生产过程中, 下芯环节属于合模浇注之前的辅助工序, 采用机器人下芯的方法需要综合考虑生产工序操作方便、场地布局合理和后续取出铸件是否顺利等因素<sup>[3]</sup>。由于是在高温辐射环节工作, 还必须考虑安全操作因素, 设备和组件的选择也要求选用耐高温的材料, 具体方案和工作流程设计如下。

### 1.1 机器人下芯技术方案

根据水冷机壳螺旋砂芯的结构形状以及低压铸造工艺, 结合企业具体的场地设备条件, 规划了如图2所示的机器人下芯设备系统, 主要由低压铸造机、机器人、锁芯传送带、锁芯夹具组件、视觉系统和控制台等组成。

型腔内的底模处设计了砂芯放入时对应芯头安装工艺定位孔, 定位孔按照芯头形状设计并预留周边大于砂芯芯头尺寸0.1 mm, 以便于砂芯无边缘阻力顺利放入, 并使铸件砂芯成形部分0.2 mm的精度公差得以保证<sup>[4]</sup>。

### 1.2 下芯工作流程

具体工作流程: 螺旋砂芯须按照固定的方向和位置要求事先装好预备在锁芯传送带上, 控制台系统启动后开始进行连续下芯及水冷机壳的连续低压铸造作业<sup>[5]</sup>, 机器人末端执行器上的柔性夹具按照既定的方向、位置和力度夹持砂芯的芯头部位,

作者简介:

韩伟(1963-), 男, 高级实验师, 学士, 主要研究方向为有色金属铸造技术及装备。电话: 13632201698, E-mail: sghanwei@163.com

通讯作者:

陈宇姗, 女, 实验师, 学士。电话: 13751783154, E-mail: 3840039@qq.com.

中图分类号: TG249.2<sup>+</sup>9

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)04-0402-05

基金项目:

2018年广东省普通高校特色创新项目(自然科学)(2018KTSCX325)。

收稿日期:

2019-12-30。

从锁芯传送带上垂直向上取走砂芯，然后机器人手臂夹持着砂芯旋转至型腔上方，同时激光视觉扫描仪对型腔内的模具特征形状进行快速扫描测量，与事先内置于系统的标准型腔形状比对验证，得到正确的砂芯预备位姿后，系统驱动机器人继续垂直下移砂芯，柔和放入型腔后松开夹持器，机器人关节手臂完成一个下芯工序退出型腔，准备进行另一台低压铸机的砂芯下芯动作。如此循环形成连续工作流程<sup>[6]</sup>。

如图3流程所示，砂芯放入型腔前，必须先清理上一铸件留下的铝渣并确认模具预热温度、型芯和铝合金液准备就绪。机器人启动前，先接收来自锁芯传送带的预备下芯工位上方的视觉系统信号，再等待接收到来自低压铸造机型腔准备就绪信号，才开始从程序原点启动手臂至锁芯传送带上方进入取芯流程<sup>[7]</sup>。

## 2 主要设备组成及参数

### 2.1 低压铸造机和机器人

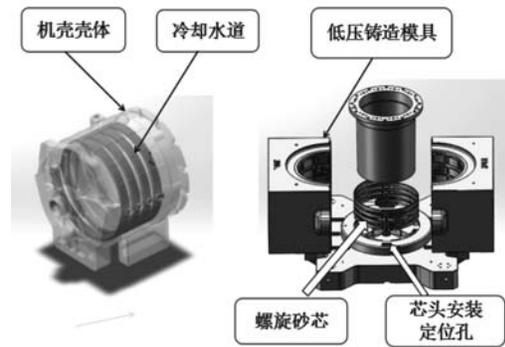
低压铸造机使用万丰公司的WFXJ4510低压铸造机，机器人为广州数控设备厂生产的RB20型6轴机器人。该型号机器人的臂部前端采用了完善的密封设计，使其用于夹持作业的J4-J6轴部分防护等级可达IP65，因此对高温工作环境的适应能力更强。同时其定位精度、负载能力和运动半径均能达到螺旋砂芯下芯使用要求，具体参数如表1所示。大型电动客车的直径500 mm的水冷机壳螺旋砂芯重量为15.5 kg，RB20型6轴机器人有效负载为20 kg，完全能够满足直径500 mm以下各型号机壳螺旋砂芯的重量要求<sup>[8]</sup>。

### 2.2 锁芯传送带

为配合低压铸造机连续作业生产，设计了一套环形伺服驱动锁芯传送带。如图4所示，锁芯传送带由锁芯底座、传送电机、视觉检测装置和传送带组成。每个锁芯安装位置底部均设计了一个对应于砂芯底部形状的锁芯底座，其中一个锁芯底座上方安装了视觉检测感应装置，检测砂芯是否准确到达预备的准确锁芯位置，并反馈信号给机器人，机器人接受信号后关节旋转运动到锁芯传送带预备下芯工位上方，再下移夹持系统夹持砂芯。锁芯底座两侧设有定位凹槽，通过这两个凹槽，使砂芯放入时安装固定的方向定位锁定<sup>[5]</sup>，方便机器人夹持器能准确夹持砂芯芯头。定位凹槽的形状尺寸与型腔内的底模处对应定位孔一样，预留了周边大于砂芯芯头尺寸0.1 mm余量，以便于机器人抓放砂芯时不会受到定位凹槽周边的摩擦阻力。

### 2.3 夹持组件的结构设计

如图5所示，在螺旋砂芯的顶部两侧对称设计了芯



(a) 机壳壳体 (b) 压铸模具

图1 水冷机壳壳体及低压铸造模具图

Fig. 1 Water-cooled housing body and low pressure casting mold

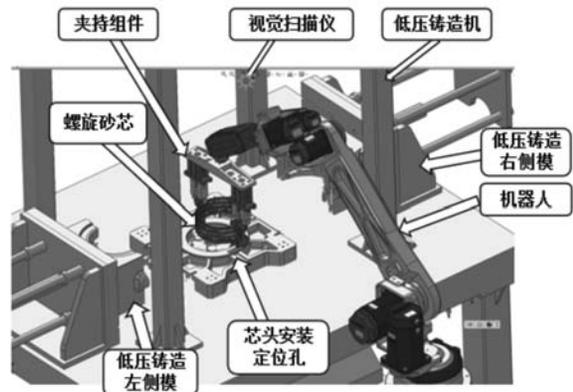


图2 水冷机壳螺旋砂芯低压铸造机器人下芯方案规划图

Fig. 2 Diagram of core setting by robot for low pressure casting spiral sand core of water-cooled housing

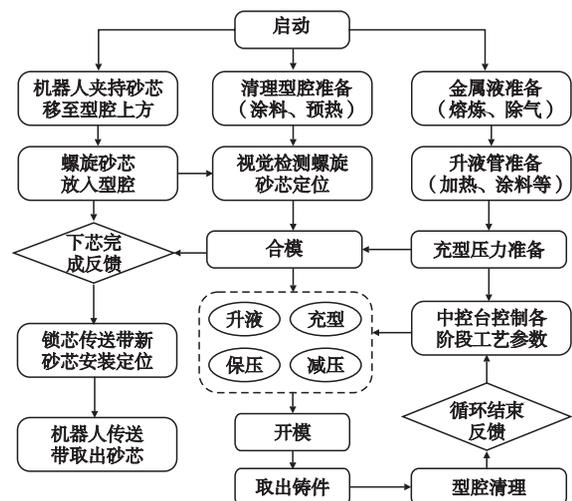


图3 低压铸造机器人下芯工作流程

Fig. 3 Work flow of core setting by robot for low pressure casting

表1 GSK RB20型6轴机器人基本参数  
Table 1 Basic parameters of 6-axis robot GSK RB20

型号	自由度	驱动方式	有效负载/kg	重复定位精度/mm	运动范围/(°)					
					J1	J2	J3	J4	J5	J6
RB20	6	交流伺服驱动	20	±0.05	±170	+132~-95	+73~-163	±180	±133	±360

头,用于砂芯安放在锁芯传送带上的定位,在水冷机壳模具底部则设计类似的两个定位孔,用于下芯时安装进低压铸造型腔内的底部定位<sup>[9]</sup>。夹持组件则由中间的支撑架、左右两侧夹头、移动夹具和气动元件部分组成,其中前端的左右两侧夹头由铝合金制成,内侧夹持位置则贴装了一层较为柔软的能够耐300℃高温的硅胶材质内衬,以避免使用过硬的材质夹坏砂芯。

由于砂芯需要放进低压铸造高温型腔内安装,所以夹持系统所使用的气动元件均应采用耐高温材质的元件,如装在支撑架上的气管使用能耐高温200℃以上反复使用的PTFE聚四氟乙烯材质气管。

#### 2.4 夹持过程机器人接近觉传感器的应用

由于砂芯是由树脂砂经射芯机射制而成,其强度十分有限,而且螺旋水道砂芯的形状复杂,下芯过程中稍微碰撞即容易损坏<sup>[10]</sup>,因此在夹持砂芯过程中需要控制机器人移动接近砂芯时的速度和夹持力度,以免过快的触碰动作损坏砂芯以及过大的夹持力度夹坏砂芯。具体的做法是采用接近觉传感器预知夹头是否靠近砂芯。由于砂芯属于非金属物体,因此选用电容式接近感应器,与常见的电感式接近感应器与光电感应器不同的是,电容式接近觉感应器能感知非金属固体的砂芯与柔软材质的夹持器夹头接近的距离,采用屏蔽式的LJC18型号接近觉感应器检测距离可以设定在4mm之内,响应频率也较快,即当夹头移动到距离砂芯小于4mm时,感应器反馈给机器人控制器减慢速度,以利于以柔和的力度夹持砂芯,避免砂芯由于机器人夹持器接近速度过快造成的冲击<sup>[8]</sup>。此外,在生产初期,为了感知控制机器人夹持砂芯力度,可以在机器人夹持器夹头位置安装指力传感器,以免夹坏砂芯。

### 3 机器人下芯编程及精度控制

低压铸造作业场地环境复杂,如果使用机器人离线编程方式,需要机器人系统和低压铸造所有设备的几何3D物理模型,通过仿真试验程序,实现复杂运行轨迹的编程,并需要与模具、砂芯等组件的几何学、运动学、动力学数据为基础,按机器人实际工作单元的安装格局在仿真环境下进行整个工作系统模型的空间布局,需要许多的时间和人力和低压铸造现场其他设备的调试,其过程太过复杂繁杂<sup>[11]</sup>,因此采用示教

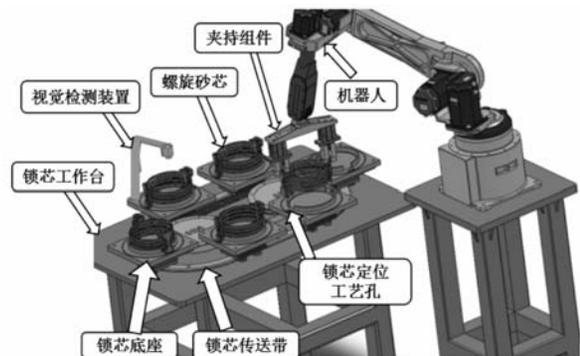


图4 锁芯传送带的结构

Fig. 4 Structure of conveyor belt for core locking

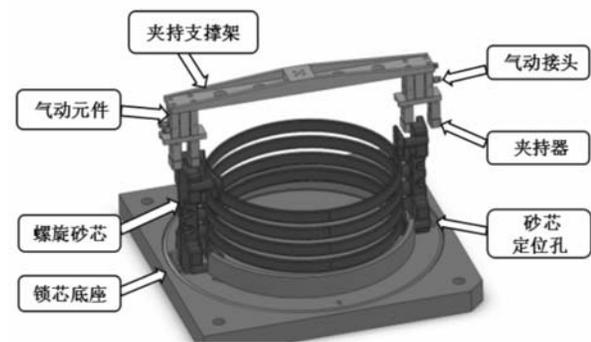


图5 下芯夹持组件图

Fig. 5 Clamping component for core setting

方式进行机器人下芯编程。

#### 3.1 机器人下芯示教编程

使用示教方式是技术人员将机器人取放砂芯任务要求的每个动作预先教给机器人,示教的过程中机器人控制系统就将关节运动状态和各程序点数据存储存储在存储器中。当需要机器人取放砂芯工作时,机器人再控制系统调用示教存储器中的各项数据,驱动关节运动使机器人再现取放砂芯的动作。同时视觉系统检测砂芯定位情况并与控制器之间进行通信联系,协调机器人的动作速度节奏,完成取放砂芯任务<sup>[12]</sup>,具体程序编制见表2。

表2 程序表  
Table 2 Procedure table

MAIN	程序
MOVJ P=1 V=25.BL=0	到达低压铸机前部待机位置(程序原点即程序点1)
SPEED SP=60	调整运行速度为最高速的60%
MOVJ P=2 BL=0	到达锁芯传送带待机位置程序2点
TINMER T=1000	延时2 s, 等待确定对准砂芯夹取位置
SPEED SP=10	调整速度为最高速的10%, 以利于柔和夹取砂芯
DOCT DO=1 VALUE=1	夹取砂芯
MOVL P=3 BL=0	以最高速的10%缓慢提升砂芯至程序点3
SPEED SP=60	调整运行速度为最高速的60%
MOVL P=4 BL=0	将螺旋砂芯移动到型具上方位置程序点4
MOVJ P=5 BL=0	将螺旋砂芯放入到模腔内欲安装位置程序点5
WAIT DI=2 VALUE=1 T=0	延时等待精度定位反馈信号触发
IF DI=1 VALUE=0 THEN	反馈信号确认砂芯已对准模腔精确位置, 继续执行
DOCT DO=1 VALUE=0	夹持器松开螺旋砂芯放下型腔
MOVJ P=6 BL=0	移出到安全的位置待机程序点6
END	程序结束

### 3.2 机器人下芯的视觉定位

砂芯放入型腔前的对准定位通过安装在机器人末端并随机器人一起运动的视觉相机采集工作由视觉相机来完成。机器人夹持着螺旋砂芯移动到型腔上方时, 视觉相机采集砂芯两侧芯头与型腔底座对应凹槽的几何位置数据, 如未对准则机器人调整关节位姿, 如顺利对准则视觉相机反馈信号至机器人控制系统, 继续执行程序放下砂芯。砂芯放入型腔后的定位检测视觉系统采用激光扫描测距方式, 在低压铸造机两个对角立柱的斜上方交叉发射两条相交的激光束, 激光扫描测距方式具有抗高温的优点, 其几何测量精度可达0.1 mm以内, 两条激光束对装入型腔的螺旋砂芯特定几何特征即砂芯两边的直角芯头位置以及砂芯顶部高度进行快速交叉扫描, 然后与内置准确的螺旋砂芯装入型腔的三维图形模板进行比对, 确定螺旋砂芯的各方向几何定位数据是否达到要求, 其后还能对模具的开合状态进行识别并将信息反馈给机器人控制器,

从而实现精确、快速的机器人自动下芯。

## 4 结语

使用机器人进行低压铸造水冷机壳螺旋砂芯下芯工作, 除了完成以上规划设计工作之外, 还需要针对不同规格大小的水冷机壳螺旋砂芯进行相应辅助配套制作, 如制作不同尺寸的锁芯传送带底座和夹持组件等。具体工作现场还要结合机器人的运动轨迹、低压铸造机的生产速度等因素进行研究和综合调试。此外, 机器人下芯运行过程中, 为保证设备及人员的安全, 必须设定机器人动作的极限位置, 主要有旋转限位和直线位置限制, 即通过工作空间监控设置功能对障碍物、动作范围、机器人运动的软极限和机械极限进行设定, 规定机器人的安全工作范围, 才能安全顺利实现机器人下芯的连续自动化工作流程, 并覆盖水冷机壳产品的不同机型, 满足新能源汽车水冷机壳的大批量生产需要。

**参考文献:**

- [1] 韩伟, 刘楚生, 张建强, 等. 电动汽车水冷机壳螺旋砂芯自动涂覆系统设计 [J]. 中国铸造装备与技术, 2017 (4): 76-79
- [2] 沈东东, 陈焱涛, 杨晓梅. 基于时间最短的冲压机器人轨迹规划 [J]. 锻压技术, 2017, 42 (5): 66-73.
- [3] 黄映, 樊自田, 刘富初, 等. 镁合金铸件用砂芯的清理设备及方法 [J]. 特种铸造及有色合金, 2016 (2): 130-133.
- [4] 樊自由. 铸造设备及自动化 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2009, 56-58.
- [5] 查明晖, 梁超, 徐贵宝, 等. ADI机器人铸件的铸造工艺及优化 [J]. 铸造, 2018 (12): 1119-1122.
- [6] 宋秀玲, 李步德. 低压铸造智能控制系统的设计 [J]. 铸造技术, 2015 (1): 221-233.
- [7] 郭瑞, 刘振国, 曹云翔, 等. 基于视觉的装配机器人精确定位研究 [J]. 制造业与自动化, 2014, 36 (5): 154-156.
- [8] 向婷, 陈进军. 基于新型压阻触觉传感器软抓取机械手的研究 [J]. 制造业与自动化, 2013, 35 (3): 69-71.
- [9] 吴剑. 铸造砂处理技术装备与应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2014, 88-93.
- [10] 陈宇姗, 韩伟, 刘楚生, 等. 电动汽车电机壳螺旋砂芯射芯机控制系统设计 [J]. 铸造, 2019 (11): 1261-1265.
- [11] 邹卫, 胡江平, 王瑞平, 等. 车用发动机缸体自动化制芯工艺柔性设计 [J]. 铸造, 2016 (2): 132-140.
- [12] 王成军, 任润润, 郭永存, 等. 混联式重载铸造机器人结构设计与分析 [J]. 铸造, 2018 (5): 409-413.

---

## Design and Programming of Core Setting by Robot for Low Pressure Casting Water-Cooled Housing

HAN Wei, CHEN Yu-shan, LIU Jian-guang, TONG Zhou

( School of Mechanical Engineering, Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou 501800, Guangdong, China )

**Abstract:**

In the continuous production process of low pressure casting for aluminum alloy water-cooled housing of electric vehicle, the spiral sand core needs to be manually installed in the mold cavity at high temperature, so the technical scheme of using robot to grab the spiral sand core and accurately install it into the mold cavity was planned, and the clamping component of the conveyor belt for core locking with visual detection and built-in proximity sensor was designed to realize accurate positioning and gentle grasping of the spiral sand core on the conveyor belt. Using laser scanning distance measurement ensured the accurate installation and positioning of the spiral sand core on the mold cavity base, and the action program of grasping and placing sand core by robot was programmed through teaching method, so as to reduce the work intensity at high temperature and improve the production efficiency and quality of low pressure casting.

**Key words:**

core setting at high temperature ; clamping component; base of locking core; core setting positioning; teaching programming;