

# 电动汽车电机壳螺旋砂芯射芯机控制系统设计

陈宇姗, 韩 伟, 刘楚生, 潘健怡

(华南理工大学广州学院工程训练中心, 广东广州 510800)

**摘要:** 针对电动汽车铝合金机壳低压铸造过程中所使用的螺旋水道整体砂芯形状特征, 改变分开二部分射砂成形再装配组合成整圈砂芯的工艺方法, 设计开发出一次性射砂成形的螺旋砂芯芯盒, 提高砂芯的生产效率和尺寸精度; 同时根据特殊的螺旋砂芯芯体结构, 设计出三方向开模的整体砂芯射芯机, 并运用PLC进行温度控制及各部件运动精确控制, 保证射芯过程中各芯体之间温度平衡稳定, 芯盒开合动作准确无误, 且固化过程温度均衡, 从而提高砂芯成形的效率和质量。

**关键词:** 螺旋水道; 整体砂芯; 射芯机; 触摸屏; PLC控制

目前国内的新能源汽车大都是采用电力驱动装置, 由于电机转速快, 发热量大, 所以电动汽车机壳一般采用内壁螺旋循环水冷方式进行冷却降温, 通过铝合金电机壳低压铸造成形过程中的螺旋砂芯作为水道砂芯, 形成机壳内部结构紧凑的螺旋形状的冷却水道, 达到循环水冷机壳的目的。现在大多数水冷机壳生产企业使用的螺旋砂芯制造工艺是先通过射芯机分别射砂成形180°半圈螺旋形状的砂芯, 再通过人工拼合作业的方式, 将两个半圈螺旋装配成整圆砂芯, 该方法不仅效率低, 装配后的砂芯尺寸精度更是难以保证, 以此工艺生产的低压铸造铝合金铸件内部冷却水道的成形尺寸精度质量也会受到影响<sup>[1-3]</sup>。通过研究和探索, 我们设计开发出能一次性射砂成形的螺旋水道整体砂芯射芯机, 并应用PLC技术对射芯机进行芯盒开合动作控制, 如图1所示。通过底模、抽芯机构、左合芯盒开合机构等组件, 构成与螺旋水道整体砂芯相匹配的芯盒模腔, 并使用树脂砂射入芯盒模腔<sup>[4-5]</sup>, 具体的工艺过程详述如下。

## 1 整体砂芯射芯机的结构

螺旋水道整体砂芯射芯机包括底模、抽芯模机构、左合模机构、右合模机构, 图2为螺旋水道砂芯模具的射芯机平面图。

底模上设有半圆形凹槽, 半圆形凹槽内有与半圆形螺旋砂芯相匹配的第一芯腔, 左右两个合模机构各形成1/4圆形螺旋砂芯, 称为第二芯腔和第三芯腔, 第二芯腔和第三芯腔顶部各有四个半圆形射砂口, 合模后则成为四个整圆形射砂口; 中间的筒状抽芯模机构包括筒体, 顶端设有射砂口。底模、抽芯模、左右模上均布了加热管的安装孔, 用于放置加热管<sup>[6]</sup>。

如图2所示, 底模底部还设有气缸和砂芯顶出结构, 气缸用于驱动顶出砂芯机构, 砂芯顶出机构包括横杆和多个顶杆, 射芯机还配有加砂机构和注砂机构; 加砂机构包括树脂砂存储装置和传输管, 传输管的一端与树脂砂存储装置连通, 另一端则通向料箱。如图3所示, 螺旋水道砂芯射芯机有四个传动机构, 用来进行各个方向的合模和开模。

## 2 射芯机的工作流程

### 2.1 整体砂芯射芯机控制系统工作流程

工作时射芯机将树脂砂射入芯腔, 经过加热固化后形成螺旋水道整体砂芯<sup>[6]</sup>, 如

作者简介:

陈宇姗(1982-), 女, 实验师, 主要研究方向为装备自动化。电话: 13751783154, E-mail: 3840039@qq.com

通讯作者:

韩 伟, 男, 高级实验师。电话: 13632201698, E-mail: sghanwei@163.com

中图分类号: TG231.66

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)11-1261-05

收稿日期:

2018-12-29 收到初稿,  
2019-03-17 收到修订稿。

图4所示。其详细工作流程见图5。

### 2.1.1 动作驱动及控制

抽芯模沿第一轨道进入底座半圆形凹槽内，第一合模沿第二轨道进入半圆形凹槽，第二合模沿第三轨道进入半圆形凹槽。各轨道运动由电机正反转控制，合模后形成整体螺旋芯腔，合模和加砂同步受控于PLC系统，提升了整体砂芯成形工艺的自动化性能。其中第一驱动机构包括横向移动结构和垂直移动结构，横向移动结构用于驱动料箱靠近或远离底模，垂直移动结构用于驱动料箱的出砂口对接或远离进砂口；第二驱动机构在抽芯模机构上，用于驱动筒体沿第一轨道运动，使筒体深入或退出半圆形凹槽；第三驱动机构在左合模机构上，用于驱动第一合模沿第二轨道运动，使第一合模靠近或远离半圆形凹槽。第四驱动机构在右合模机构上，用于驱动第二合模沿第三轨道运动，使第二合模靠近或远离半圆形凹槽。

### 2.1.2 自动加热

如图6所示，通过均匀分布在型腔周围的加热管将各个芯体及底模均匀加热至 $200 \sim 250 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，通过PLC集中控制加热时间，避免砂芯受热不均，提高砂芯的成形质量。PLC的温度控制自动对接和自动加热可以同步进行。

### 2.1.3 控制射芯成形

在PLC控制下，将料箱的树脂砂经进砂口射入第四芯腔内，射芯压力为 $0.4 \sim 0.5 \text{ MPa}$ ，射芯时间为 $8 \sim 10 \text{ s}$ ，使螺旋水道整体砂芯在第四芯腔初步成形。

### 2.1.4 均衡固化成形

螺旋水道整体砂芯在芯腔内分三段固化，一段固化温度为 $160 \sim 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $50 \text{ s}$ ；二段固化温度为 $180 \sim 200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $90 \text{ s}$ ；三段固化温度为 $200 \sim 210 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $40 \text{ s}$ 。逐步升温并分段进行固化操作，能提升半圆形螺旋砂芯的固化效果。

### 2.1.5 自动开模

抽芯模沿第一轨道退出底座半圆形凹槽内，第一合模沿第二轨道退出半圆形凹槽，第二合模沿第三轨道退出半圆形凹槽。在PLC控制下顺序开模，避免受力不均造成砂芯损坏，保证砂芯的合格率。

### 2.1.6 自动顶出

通过PLC控制开启气缸，驱动顶砂芯结构的顶杆，底模中顶杆抵接螺旋水道整体砂芯的平台部和圆弧部，从半圆形凹槽内推出螺旋水道整体砂芯。

## 2.2 整体砂芯射芯机控制系统与普通射芯机控制系统的比较

针对螺旋砂芯的结构特点，普通射芯机采用双向开模生产 $180^{\circ}$ 的半圆形螺旋砂芯，使用手工的方

法将两个半圆螺旋砂芯通过定位销对齐绑紧固定，形成整体砂芯。此方法费时，材料损耗较高，成形质量低，但射芯机只需双向开模，控制系统简单。

整体砂芯射芯机控制系统采用一次成形技术，采用三方向开模，提高了砂芯成形速度和质量，但需要

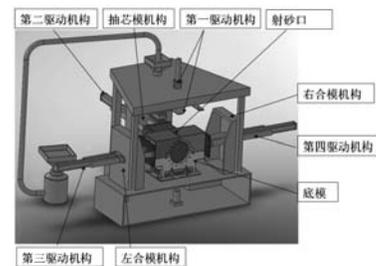


图1 射芯机主体结构图

Fig. 1 Main structure diagram of core shooting machine

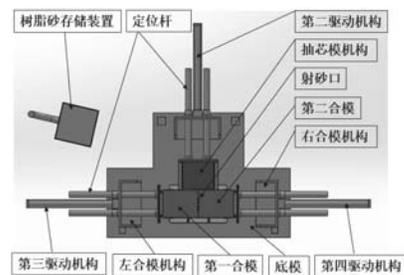


图2 射芯机平面图

Fig. 2 Plane diagram of core shooting machine

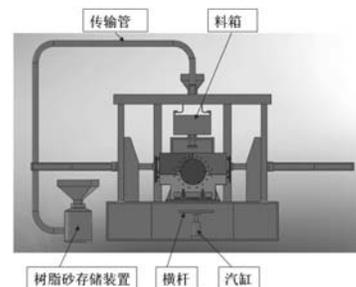


图3 射芯机主要部件位置图

Fig. 3 Position diagram of main parts in core shooting machine

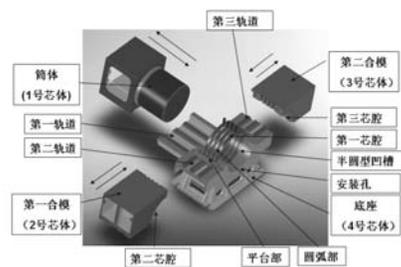


图4 螺旋砂芯芯盒结构图

Fig. 4 Structural diagram of spiral sand core box

多方向开模，需要均匀固化，对成形时间要求较高，控制流程复杂，对整个控制系统要求更高。

### 3 系统控制程序设计

为了保证射芯机各机构运动的准确性，以PLC为控制核心完成射芯动作，并用触摸屏进行面板操作。如图7所示，触摸屏控制系统，其最上一行5个为总控制开关，分别为开始、急停、复位、自动模式和手动模式。开始和急停按钮控制整个系统的开始和急停。自动模式下，整个系统以设定的模式按顺序并由各系统自动控制工作；手动模式下，可以根据需要对参数进行设定。触摸屏上的第二行为具体动作控制按钮，可以控制自动合模（包括1号芯体合模、2号芯体合模、3号芯体合模）、自动加砂、自动对接、自动加热、射芯成形、固化成形、自动开模（包括1号芯体开模、2号芯体开模、3号芯体开模）和自动顶出8个环节。同时对注射环节的关键数据进行监控，在屏幕最后一行设置了4个数字显示功能（包括预热温度、固化温度、射芯压力和射芯时间），以保证射芯机射芯效果<sup>[7-10]</sup>。

螺旋水道整体砂芯射芯机的螺旋砂芯成形工艺减少了拼合半圈砂芯的手工操作环节，采用PLC作为核心自动控制螺旋砂芯生产过程，进行各系统按步骤有序进行控制。控制系统工作流程如图8所示。

图9为触摸屏控制系统中的总程序控制部分梯形图程序，M8002为启动准备信号，设置启动环境，确保不

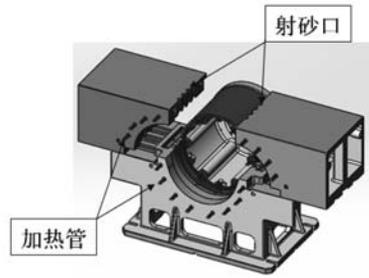


图6 加热管分布图  
Fig. 6 Distribution diagram of heating pipes

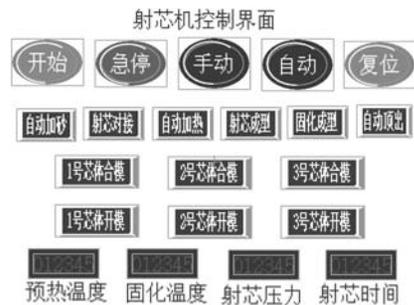


图7 触摸屏控制面板  
Fig. 7 Touchscreen control panel

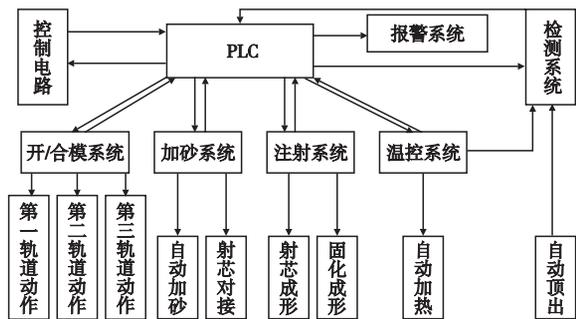


图8 系统控制原理图  
Fig. 8 PLC system control chart

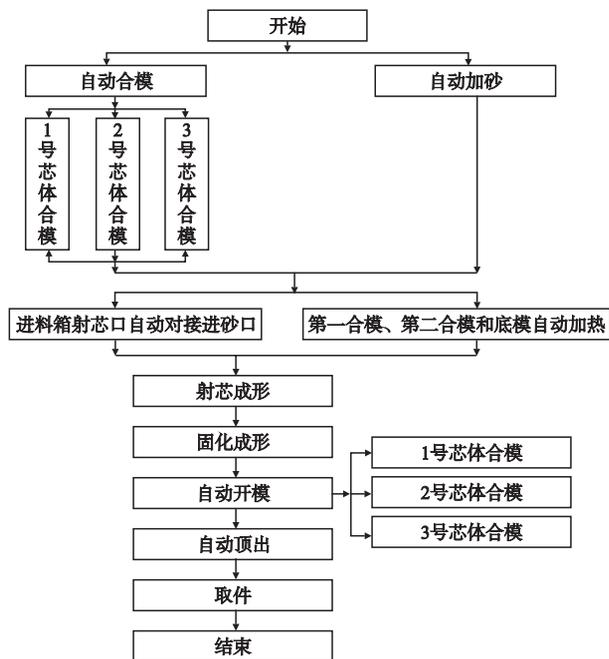


图5 射芯机工作流程图  
Fig. 5 Work flow chart of core shooting machine

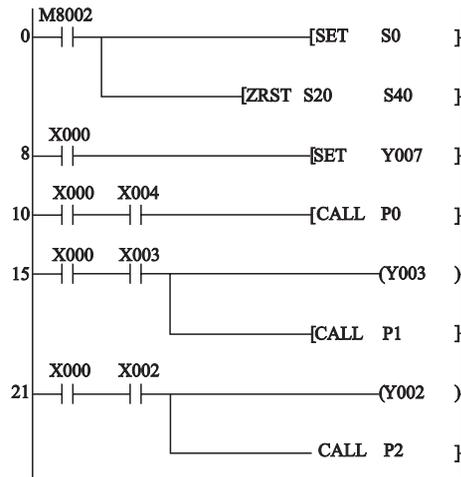


图9 控制系统部分梯形图  
Fig. 9 PLC control program of a single production line

被其他程序干扰。X000为程序总开关。X001为急停。X001为复位,调用P0子程序,机床回原点。X003为手动,调用P1子程序,程序进入手动状态,可分别调整各阶段动作。X002为自动,调用P2子程序,程序进入

自动状态,自动按流程执行各动作。触摸屏PLC控制逻辑端口设置见表1。经过多次试验,制出的螺旋水道整体砂芯如图10所示。

表1 触摸屏PLC端口的设置  
Table 1 Setting of PLC ports for touchscreen

I/O	工作内容	I/O	工作内容	备注
X0	电源总开关	Y0	总电源打开	
X1	急停开关	Y1	急停动作	
X2	自动工作模式	Y2	自动工作方式	指示灯
X3	手动工作模式	Y3	手动工作方式	指示灯
X4	复位	Y4	自动加砂动作	
X5	自动加砂开关	Y5	射芯对接动作	
X6	射芯对接开关	Y6	自动加热动作	
X7	自动加热开关	Y7	射芯成形动作	
X10	射芯成形开关	Y10	固化成形动作	
X11	固化成形开关	Y11	自动顶出动作	气缸动作
X12	自动顶出开关	Y12	1号芯体电机正转	完成合模
X13	1号芯体合模开关	Y13	2号芯体电机正转	完成合模
X14	2号芯体合模开关	Y14	3号芯体电机正转	完成合模
X15	3号芯体合模开关	Y15	1号芯体电机反转	完成合模
X16	1号芯体开模开关	Y16	2号芯体电机反转	完成合模
X17	2号芯体开模开关	Y17	3号芯体电机反转	完成合模
X20	3号芯体开模开关	Y20	第一驱动机构水平电机正转	料箱靠近底模
X21	第一驱动机构靠近底模开关	Y21	第一驱动机构水平电机反转	料箱远离底模
X22	第一驱动机构远离底模开关	Y22	第一驱动机构竖直电机正转	料箱靠近底模
X23	预热温度设定开关	Y23	第一驱动机构竖直电机反转	料箱远离底模
X24	射芯压力设定开关	Y24		备用
X25	射芯时间设定开关	D1	射芯压力设定	
X26	固化时间设定开关	D2	射芯时间设定	
X27	固化温度设定开关	D3	固化时间设定	
D0	预热温度设定	D4	固化温度设定	

## 4 结论

新能源汽车电机壳螺旋水道整体砂芯射芯机,其一次成形的设计大大增强了砂芯的强度,减少人工因素而导致的质量问题,保证了砂芯的高质量以及产品的稳定性。同时根据特殊的螺旋砂芯芯体结构,设计出三方向开模的整体砂芯射芯机,并运用PLC准确进行温度控制及各部件运动精确控制,保证射芯过程温度稳定,动作准确无误,固化过程温度均衡,提高砂芯成形的效率和质量,从而有效提升了新能源汽车关键零部件的制造技术水平。



图10 螺旋砂芯成品

Fig. 10 Finished product photo of spiral sand core

**参考文献:**

- [1] 刘文川, 王兴平, 谭勇, 等. 干式缸套气缸体水套砂芯热芯盒的优化设计 [J]. 中国铸造装备与技术, 2005, 43 (1): 41-43.
- [2] 刘光清. 气缸体前后端面热芯盒的优化设计 [J]. 铸造技术, 2011, 32 (6): 797-799.
- [3] 李耀宗, 陈志林. 虚拟环境下机体铸件的优化设计制造技术 [J]. 铸造, 2017 (9): 958-961.
- [4] 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, 55 (4): 76-79.
- [5] 朱丹, 潘东杰, 沈永华, 等. 五方向分型自动射芯机的研发 [J]. 铸造, 2012 (12): 1422-1424.
- [6] 刘楚生, 韩伟, 黄凌森, 等. 电动汽车水冷机壳热芯盒电加热温度控制系统设计 [J]. 铸造技术, 2017, 38 (12): 3009-3012.
- [7] 吴春苗. 压铸技术手册 [M]. 广州: 广东科技出版社, 2007.
- [8] 袁树林, 隋臣, 刘鑫, 等. 浅谈砂型铸造专业化生产线柔性化改进及成效 [J]. 铸造, 2016 (7): 673-676.
- [9] 褚渊博, 唐云龙. PLC、触摸屏仿真软件在交通信号灯系统设计中的应用 [J]. 石家庄铁道大学学报: 自然科学版, 2010, 23 (1): 82-87.
- [10] 杨玉琴, 李亚宁. 触摸屏技术研究及市场进展 [J]. 信息记录材料, 2012, 13 (1): 35-46.

---

## PLC Control System Design of Core Shooting Machine for Spiral Sand Core in Motor Shell in Electric Vehicle

CHEN Yu-shan, HAN Wei, LIU Chu-sheng, PAN Jian-yi

(Engineering Training Center, Guangzhou College of South China University of Technology, Guangzhou 510800, Guangdong, China)

**Abstract:**

In view of the shape characteristics of integral core of spiral channel used in low pressure casting of aluminium alloy shell of the electric vehicle, the previous method of forming whole circle sand core by separate two-part sand-shooting and reassembly is changed, and the structure of spiral sand core box formed by one-time core-shooting is designed and developed to improve the production efficiency and dimensional accuracy of the sand core. At the same time, according to the special structure of spiral sand core body, the whole sand core shooter with three-direction opening molds is designed, the temperature control and the precise motion control of each component are carried out by PLC to ensure the temperature balance and stability between the cores during the core shooting process, and also ensure the accurate opening and closing action of the core box and the temperature balance in the curing process, so as to improve the efficiency and quality of sand core forming.

**Key words:**

spiral waterway; integrated sand core; core shooting machine; touch screen; PLC control

---