DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.08.010

地坑造型砂箱定位装置的设计与实践

于　跃[1],李金泽[1],杨　旭[2],李一明[1],闫　周[2]
(1.沈阳航空航天大学 机电工程学院,辽宁 沈阳 110136;2.沈阳航空航天大学 工程训练中心,辽宁 沈阳 110136)

摘　要:地坑造型是在地平面以下的砂坑内造型的方法,主要用作重大型铸件生产。为解决地坑造型砂箱的精确合箱,通过对传统的合箱工艺进行利弊分析,提出了一种新型的砂箱定位装置。运用三维软件 Solidworks 对其进行三维建模、虚拟装配以及运动仿真,对装置的可行性进行了验证,并进一步的构建了物理样机模型。结果表明,通过样机模拟砂箱合箱过程,发现其能够实现预期功能,完成精准合箱,并且能提高合箱精度及安全性,可为实体样机制造提供重要参考。

关键词:砂箱;定位装置;合箱
中图分类号:TG242　　**文献标志码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2021)08-0691-05

Design and Practice of Sand Box Position Device for Pit Moulding

YU Yue[1], LI Jinze[1], YANG Xu[2], LI Yiming[1], YAN Zhou[2]
(1. School of Electrical and Mechanical Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China; 2. Engineering Training Centre, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110136, China)

Abstract: Pit moulding is a moulding method in which a pit below floor is used as bottom sand box (drag) and top sand box is placed over the pit. Pit moulding is mainly used for making very large castings. In order to solve the precise closing of pit shaped sand box, a new positioning device for sand box was put forward by analyzing the advantages and disadvantages of traditional closing process. The 3D software SolidWorks was used to carry out 3D modeling, virtual assembly and motion simulation, and the feasibility of the device was verified, and the physical prototype model was further built. The results show that by simulating the process of sand box closing, the prototype can realize the expected function, complete the precise closing, and improve the accuracy and safety of the closing, which can provide an important reference for the manufacturing of solid prototype.

Key words: sand box; locating device; closing box

随着产业政策的不断推出,我国铸造行业在节能装备、环保及安全防护设施上的投入明显提速,铸造技术在各个领域中越来越发挥着难以替代的作用[1-2]。目前砂型铸造是生产重大型铸件的重要手段,其主要方法为地坑造型,但是现有的合箱定位装置的适用范围有限,无法用于地坑造型[3-4]。并且插钉法、冒口观察合型法、尺寸推导法等[5-6]用于地坑造型的传统合箱方法,需要人工操作,且易造成错箱、砂箱晃动撞伤工作人员、砂型损坏等问题[7-9]。

造成合箱弊端的根本原因在于砂箱下降过程中会有较大程度的晃动,这种晃动是主动体牵引另一个被动体沿着同一条导轨运动时产生的,很难避免[10]。所以如何避免或减轻砂箱晃动成了克服合箱问题的重中之重。

为解决现有方法合箱砂箱晃动的问题,本研究设计一种可伸缩外框的辅助装置,使砂箱沿可伸缩外框的内壁下落,实现精准合箱。

1　砂箱定位装置的组成及工作原理

1.1　装置组成

地坑造型的砂箱定位装置包括执行装置与自动控制模块(如图 1),其中执行装置有定位伸缩框、上砂箱、下砂型、液压推动器、竖直保持装置、天车等结构。其中液压推动器采用一种智能伸缩杆,可对行程进行控制[11]。

自动控制模块包括两级定位器和主控核心控制板。一级定位器采用激光雷达,采样频率 8 000 Hz,有效半径距离 12 m,固定在上砂箱的上表面大致中心(保证工作半径需求),测量上砂箱的位置信息[12];二级定位器,采用 L1 型号,TTL 输出,量程为 40 m,室

收稿日期:2021-04-18
基金项目:沈阳航空航天大学非博士成长基金(201602Y);沈阳航空航天大学创新创业训练项目(X202010143074)
作者简介:于　跃(2000—),山东日照人,本科生.研究方向:机械设计及其制造.电话:15163318240,Email:1036176594@qq.com
通讯作者:杨　旭(1988—),辽宁葫芦岛人,实验师.研究方向:机械设计、铸造工艺设计,实践教学管理.电话:18842417715,Email:312428849@qq.com

内精度为 ±1 mm,采样频率为 5 Hz 至 40 Hz 的可见光激光测距模块[13-14],固定在液压推动器的一侧,实时检测二级定位器到定位伸缩框内壁的相对水平距离。

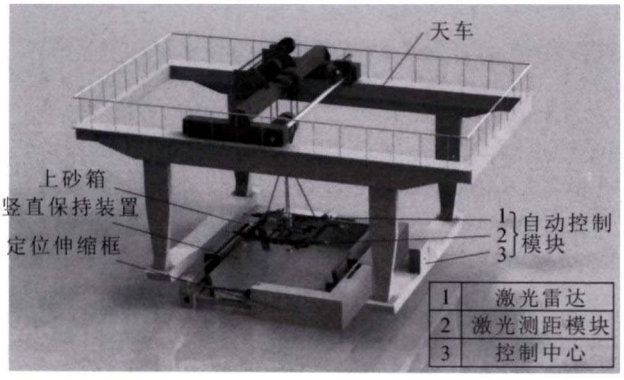

图 1 定位装置全景

Fig. 1 Positioning device panorama

1.2 装置工作原理

利用定位伸缩框的伸缩特性以及固定于上砂箱四周的液压推动器,使上砂箱与定位伸缩框间接接触,限制上砂箱水平方向的相对移动,并在天车驱动下实现上砂箱的贴合升降运动。同时利用激光雷达以及测距模块,实时检测上砂箱位置数据以及推杆 4 个面 8 通道数据,并将数据送至主控核心控制板进行解算,实现上砂箱的数据监测与传输,为上砂箱合箱提供实时数据。

结合使用执行装置与自动控制模块,即可通过数传监测砂箱的实时位置信息以及推杆伸缩距离,并及时反馈给执行装置,使其做出进一步调整,使上砂箱在精准数据的监测下实现精准合箱。

2 定位装置的建模、装配及仿真

2.1 建模

利用 SolidWorks 软件,搭建定位伸缩框的零件。

构成主体的零件有:伸缩内框、伸缩外壳、伸缩内轴、伸缩外轴。

构成传动的零件有:蜗轮、蜗杆、齿轮、锥形齿、支架、离合器、推杆开关等。

构成竖直保持装置的零件,包括翻板、翻板转轴和翻板推动器。

伸缩内框呈直角形状,其中一端为齿条结构,另一端为允许齿条穿过的方孔结构,二者互相垂直,见图 2(a)。伸缩外壳包裹伸缩内框,同样呈直角形状,并且在上表面开槽使推动开关外露,见图 2(b)。

(a)伸缩内框　(b)伸缩外壳　(c)支架

图 2 伸缩内框、伸缩外壳、支架零件

Fig. 2 Parts of Telescopic inner frame, telescopic outer shell and bracket

伸缩内轴为一个带有键槽的细长轴,相较伸缩外轴,它的轴颈较小。伸缩外轴其孔径大于伸缩内轴的轴颈,并且有较长的键槽。

蜗轮、蜗杆、齿轮、锥形齿为标准件,可直接在零件库中导出使用,其中蜗轮在导出后需要同轴拉伸一定厚度的齿轮,实现同转。支架的特征包含两个轴及一个通孔,以便与蜗轮、齿轮以及转轴配合连接,见图 2(c)。

离合器由摩擦片及压盘组成,使用旋转命令生成,二者贴合时可通过摩擦力实现传动。推杆开关由轴套及杆件连接而成,可实现与轴共同移动而不共转。

翻板搭建了两个可互相嵌套的的板子,并在细长的两侧面打孔,以便与翻板转轴配合,并在翻板内侧添加凹槽,以与推动器的推杆滑动连接。翻板转轴是定位伸缩框与翻板的连接结构,实现翻板的定轴转动。

2.2 装配

所有零件建模完成后,分别对定位伸缩框、竖直保持装置、上砂箱进行装配,最后对上述子装配体进行总装配。

2.2.1 定位伸缩框装配

添加 4 个伸缩内框,依次给两个伸缩内框零件的齿条与方孔添加移动副约束,并在 4 个伸缩内框的齿条侧上方放置伸缩内轴,另一侧上方放置伸缩外轴,两轴通过键连接,实现一对伸缩轴的伸缩与传

动;将 4 对锥形齿装到 4 个边角处,使锥形齿与伸缩轴通过联轴器连接,实现同步传动,在 4 对锥形齿的作用下,可以实现 4 对伸缩轴的同步传动。

添加支架,将其放置于齿条的上方,与伸缩内框的方孔端固定连接,并分别将蜗轮、齿轮同轴配合于支架的上下两轴;将蜗杆与伸缩外轴同轴配合,同时与蜗轮啮合,并通过支架限制其一个方向的轴向位移。摩擦片与蜗杆间通过键槽实现同步传动,并通过轴肩限制摩擦片以及蜗杆的另一侧轴向位移。压盘与伸缩外轴用键连接、与推杆开关同轴连接并保持间隙,并通过挡块限制推动开关与压盘的相对位移。通过弹簧和支架,限制推动开关及压盘的移动及复位。

最后将 4 个伸缩外壳互相嵌套,形成一个 4 边空壳,再将其套到装配体外围即完成定位伸缩框的装配。

2.2.2　竖直保持装置装配

首先添加一个翻板和两个翻板转轴,将两个翻板转轴与翻板的孔同轴配合,使翻板能绕轴旋转;再添加两个翻板推动器,将其推杆的末端与翻板凹槽以移动副连接,并且为使翻板能够实现旋转运动,要将翻板推动器放置于翻板转轴的另一侧;最后将翻板转轴与翻板推动器固定于定位伸缩框的一侧,并将其复制、旋转 180°,以相同连接方式固定。

将上述竖直保持装置与定位伸缩框进行装配,见图 3。

2.2.3　上砂箱装配

添加上砂箱,使其为固定件,再添加八个液压推动器,并依次放置于上砂箱的每个侧面的两侧位置,并保证在同一高度且保持一定间距;在各个推动器上安装测距模块,使其随伸缩杆保持相对静止;再添加激光雷达,使其固定于上砂箱上表面的中心位置,见图 4。

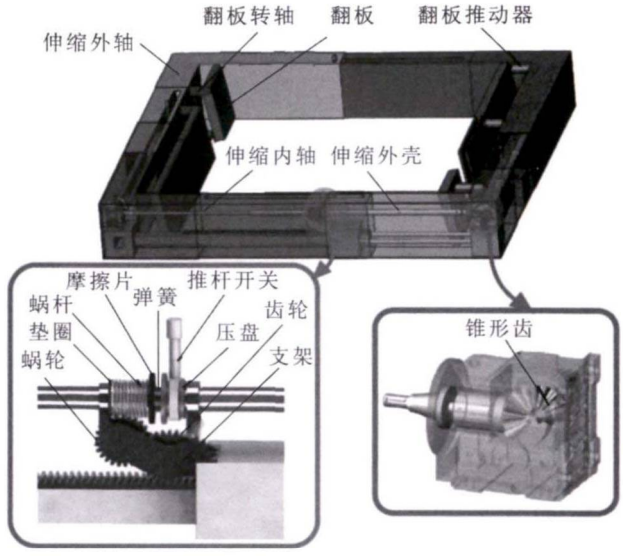

图 3 定位伸缩框装配体

Fig. 3 Locating telescopic frame assembly

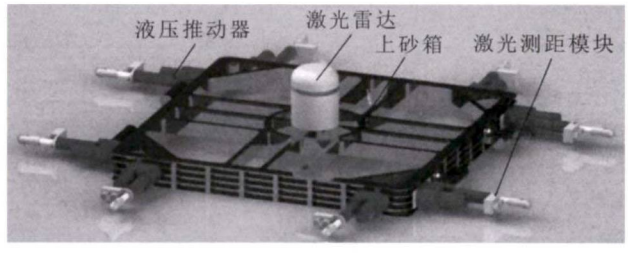

图 4 上砂箱装配

Fig. 4 Upper sand box assembly

2.3　运动仿真

结合地坑造型的工艺流程以及该装置的使用方法,对建立的三维模型进行运动仿真,如图 5。依次经历如下 3 个阶段。

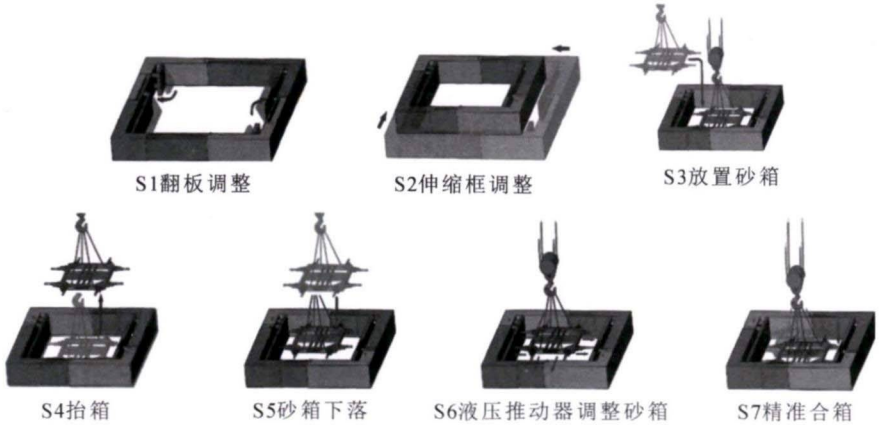

图 5 定位装置的合箱过程

Fig. 5 Closing process by means of a locating device

准备阶段:S1、调整竖直保持装置,使得翻板与水平面垂直;S2、将定位伸缩框尺寸调整到比上砂箱尺寸大 1.0 ~ 1.5 m。

造型阶段:S3、控制天车把上砂箱吊放到定位伸

缩框内的造型位置，进行上砂箱造型工作，之后，一、二级定位器工作，将上砂箱的位置数据通过数传模块传送至控制器；S4、天车吊起上砂箱，取出地坑内的模样。

合箱阶段：S5、控制器驱动天车将上砂箱移动至下砂型上方 100 ~ 200 mm；S6、控制器驱动液压推动器调整上砂箱与定位伸缩框的相对距离，使上砂箱和下砂型的位置对应；S7、控制器驱动天车工作，使上砂箱沿着定位伸缩框下降与下砂型合模。

结果表明，这种砂箱定位装置能够通过所设计的结构，实现伸缩框的尺寸调整、满足造型时的开、合箱过程要求。

3 原理样机搭建及试验

3.1 样机搭建

为了进一步检验该定位装置的合箱效果，研制了缩比样机，其包括定位伸缩装置、天车、推动器、砂箱等组成的执行装置，以及超声波传感器和 Arduino 控制模块组成的自动控制模块，见图 6。由于受模型尺寸限制，未搭建竖直保持装置及二级定位器，但不影响试验结果。

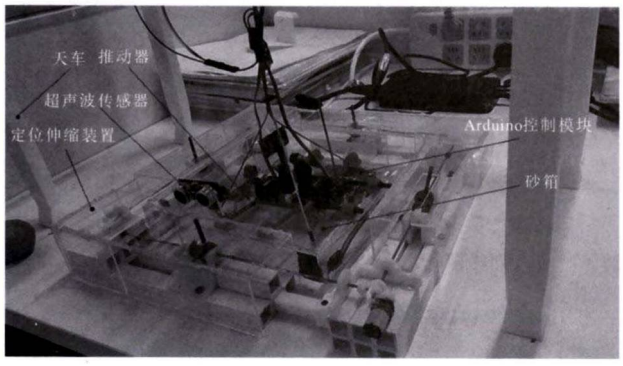

图 6 缩比样机

Fig. 6 Scaled – down prototype

（1）搭建定位伸缩装置，首先通过 PVC 管粘合，形成主体结构，再将轴、齿轮件、打印件连接，形成传动结构，将主体与传动结构通过自攻螺钉固定连接，最后用亚克力板制造伸缩外壳，并套在上方。组装完成后，通过测量得，最大有效长度为 240 mm，最小有效长度为 150 mm，有效伸缩比达 1.6。

（2）上砂箱通过亚克力板制作，并在上表面四个角处钻孔，用以通过绳子将其悬吊。最终测量其尺寸为长 150 mm、宽 150 mm、高 20 mm。推动器用一曲柄滑块机构等效代替，放置于上砂箱的上表面，通过 3D 打印进行制作，并用舵机精准控制推动杆的伸缩，有效推程 20 mm。另外在上砂箱上表面放置 3 个 HC - SRO4 超声波模块，同时搭配 Arduino UNO 板，形成超声波测距系统[15]，用以测量水平面两个方向及竖直方向上的距离信息。

（3）天车通过零件打印、组装而成，利用轮子实现水平面两方向的移动，用滚筒缠绕绳索，实现竖直方向的移动。经过测量，长度（x 轴）方向极限位移量为 300 mm，宽度（y 轴）方向极限位移量为 200 mm，高度（z 轴）方向极限位移量为 250 mm。

3.2 试验过程

将超声波传感器测量的两水平方向数据分别用 x 和 y 表示，竖直方向数据用 h 表示，单位 mm。

将定位伸缩装置调整到合适尺寸，固定于水平桌面。将上砂箱平放在地面，记超声波传感器测量的竖直方向数据为 h_1；再将上砂箱悬吊到伸缩装置内侧并离地面一定高度，静置后调整推动器推程，使每个推杆末端恰好与伸缩装置内壁贴合，记录竖直方向数据，并记为 h_2，及四个舵机转动角度，记为 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$。再驱动天车，将上砂箱移动至最高位置并静置，记三个超声波模块测得数据为 x_0, y_0, h_0。令上砂箱在某一时刻，水平误差为 Δx、Δy、下落高度为 Δh，且满足：

$$\begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}$$

将已测量的 $h_1, h_2, x_0, y_0, h_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ 数据输入程序，在上砂箱完全静置后启动程序：上砂箱下落，直至到达地面，即下落高度满足 $\Delta h = h_0 - h_1$。同时，在下落高度满足 $\Delta h = h_0 - h_2$ 后，分别调整四个舵机角度至 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$，使推动器与定位伸缩装置贴合。整个过程实时对传感器数据进行读取、处理，并将最终结果传送至 Arduino UNO 板。

3.3 试验结果

将初始数据导出，见表 1。

表 1 初始数据

Tab. 1 Initial data

x_0/mm	y_0/mm	h_0/mm	h_1/mm	h_2/mm	θ_1/°	θ_2/°	θ_3/°	θ_4/°
13.4	11.7	227.0	10.8	58.4	69.2	58.4	124.6	92.5

将误差 Δx、Δy 与下落高度 Δh 数据导出，以 Δh 横坐标，Δx、Δy 为纵坐标绘制曲线，并对其进行光滑处理，见图 7。

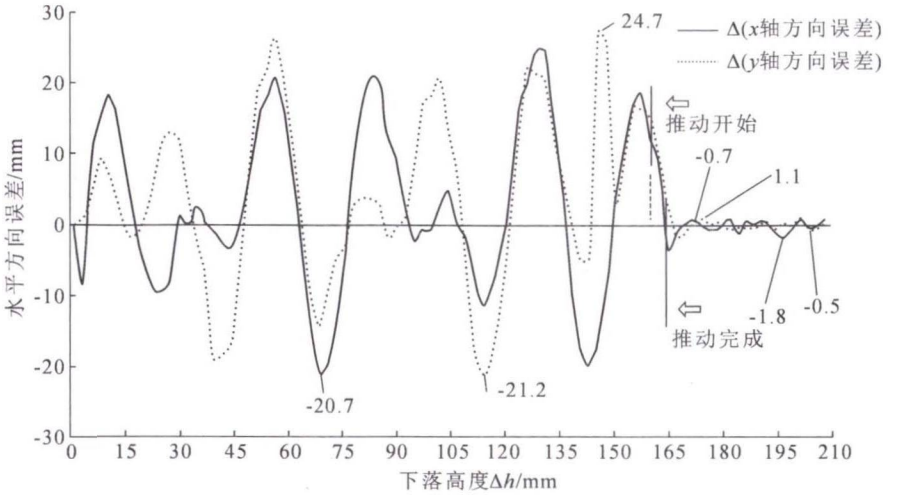

图 7 不同下落高度时水平方向的误差 Δx、Δy

Fig. 7 Variation of horizontal error Δx and Δy with different falling height

据图像显示：天车运行后，上砂箱会产生较大幅度的晃动，并且最大摆动幅度能达 27.4 mm。在运用砂箱定位装置后，砂箱下落过程更加平稳，最大摆动幅度仅为 1.8 mm。并且由于超声波传感器存在有 1 ~ 2 mm 误差，在考虑传感器精度后，认为由定位装置产生的误差要远小于 1.8 mm，并且趋近零误差。因此，这种砂箱定位装置能够有效减少甚至避免箱体晃动，实现上砂箱与下砂型的精准合箱。

4　结论

（1）建立了定位伸缩框的三维模型，并进行了装配及运动仿真，从仿真结果看可以实现伸缩框的尺寸调节功能。

（2）通过制作缩比样机、模拟合箱过程，验证了伸缩框的尺寸调节性能与设计一致，验证了定位装置合箱的精准性。

（3）与传统的定位方法相比，全程无人员直接介入，在精准度、安全性、稳定性方面有明显的优势，并且适用于多种造型工艺，可为实体装置研制提供参考。

参考文献：

[1] 潘徐政，卢旭锋，张明珠，等. 中国铸造行业发展现状及趋势[J]. 铸造工程，2020，44(6)：46.

[2] 林凯强. 铸造行业智能制造标准化的现状和发展[J]. 铸造工程，2019，43(5)：46-50.

[3] 郭锐文. 自硬砂型合箱定位装置的设计[J]. 铸造，2019，68(3)：299-302.

[4] 杨贤木，陈海生，陈海龚，等. 新型合箱定位装置及配套砂箱的设计与应用[J]. 铸造技术，2001(4)：37-38.

[5] 蔺继华. 解决错箱的有效方法[J]. 新技术新工艺，1988(6)：18.

[6] 赵纪川. 简易砂箱定位[J]. 机械工人，1985(11)：27.

[7] 张维业. 地坑造型的事故及预防措施[J]. 工业安全与防尘，1994(2)：15-17.

[8] 张维业. 地坑造型的安全防范[J]. 铸造技术，1990(2)：34-35，12.

[9] 王蒙. 合箱工序的上下箱定位[J]. 金属加工(热加工)，2020(2)：78-80.

[10] 张均保，胡浪，蓝王建，等. 施工升降机吊笼晃动原因分析[J]. 建设机械技术与管理，2016，29(1)：63-65.

[11] 仰其政. 智能伸缩杆：中国，201520843218.3[P]. 2018-11-17.

[12] Denis Alexandrovich Akmaykin, Eduard Anatolyevich Bolelov, Anatoliy Ivanovich Kozlov, et al. Theoretical Foundations of Radar Location and Radio Navigation[M]. Springer Nature Book, 2021.

[13] 王文清，田柏林，冯海明，等. 基于激光测距矿用带式输送机多参数检测方法研究[J]. 煤炭科学技术，2020，48(8)：131-138.

[14] 许浩浩，易艺，韩志胜，等. 基于 STM32 的短距离激光测距仪设计[J]. 仪器仪表用户，2019，26(7)：8-10，33.

[15] 蔡睿妍. 基于 Arduino 的超声波测距系统设计[J]. 计算机产品与流通，2020(6)：170.

精铸用

石英砂、石英粉、铝矾土、高铝砂

灵寿县德泰矿产品有限公司是一家专业从事非金属矿物的生产厂家，设备先进，技术力量雄厚。

让客户满意是我们的宗旨

化学成分

石英砂	石英粉	铝矾土	高铝砂
$SiO_2 \geqslant 98.7\%$	$SiO_2 \geqslant 98.7\%$	$Al_2O_3 \geqslant 55\%$	$Al_2O_3 \geqslant 52\%$

地　址：河北省灵寿县洞里工业区

电　话：0311-82617801(传真)，15175156717

联系人：刘喜亮