

冷冻机体铸件平做立浇铸造工艺设计

陈宗民¹, 陈强²

(1. 山东理工大学 机械工程学院, 山东淄博 255049; 2. 山东浩信集团, 山东潍坊 261307)

摘要: 介绍了一种冷冻机体铸件的平做立浇铸造工艺方法。该铸件属于薄壁箱体类铸件, 外廓、内腔结构均很复杂, 由于工作环境有承压和渗漏要求, 铸件不允许有任何缺陷, 并进行压力渗漏试验。采用平做立浇工艺, 兼顾了造型和液态金属充型的双重要求。在浇注系统中采用底雨淋加阶梯式浇注系统, 使金属液分散进入型腔, 并通过控制浇注系统各单元的截面比实现分层平稳注入。按照平做立浇工艺, 设计了专用工装。该工艺降低了造型高度、方便了型芯装配, 使浇注过程平稳, 温度场均衡, 实现了同时凝固, 降低了铸造热应力。

关键词: 铸造工艺; 铸件; 平做立浇; 底雨淋阶梯式浇注系统; 冷冻机体铸件

中国是制冷压缩机产品的生产大国, 其中活塞式压缩机由于诸多优势, 在很多行业具有不可替代性, 竞争也最激烈^[1]。根据活塞式冷冻机的工作原理, 冷冻机内部存在制冷剂气、液两种状态的不断地转化和转移, 并且在制冷压缩机处还有压缩操作。这种特殊的工作机制, 对于冷冻机的结构性能就有了很高的要求。而机体是冷冻机的核心零部件, 冷冻机体在整个工作过程中不仅承受循环动力, 而且起到了转移、压缩制冷剂蒸气的作用, 是一个重要的枢纽。因此, 要求机体毛坯具有良好的气密性和致密性, 有较高的尺寸精度。毛坯内部组织结构需均匀, 不能有气孔、渣眼、夹砂、冷隔、缩松等缺陷, 从而满足压力和渗漏的要求。另外, 机体部分是支承压缩机全部质量并保证各零部件之间有正确的相对位置的部件, 是整个压缩机的支架, 因而, 要求其有足够的强度和刚性。

1 冷冻机体的结构分析和技术要求

该机体为多缸活塞式制冷压缩机的主要支撑件。如图1所示, 铸件的基本外廓尺寸为长970 mm, 宽915 mm, 高780 mm, 重量488 kg, 最大孔径 $\Phi 316$ mm, 最小孔径 $\Phi 26$ mm, 属于中型铸件。缸套连接部位凸起使得铸件外部结构复杂, 前后面设有主轴通孔, 整体上具有一定的对称性。铸件壁厚均匀, 但内部结构复杂, 具有众多的空腔结构, 空腔与空腔之间的连接方式复杂。

铸件尺寸精度按照CT9, 铸件毛坯面粗糙度低, 结合面处为 $Ra3.2 \mu\text{m}$, 轴孔处 $Ra1.6 \mu\text{m}$ 。铸件需要进行1.8 MPa的压力和渗漏检验。生产要求铸件出品率85%, 废品率小于3%, 工艺方法是重要的保障基础。

2 浇注位置和分型面的确定

该铸件连接型腔的最大孔径在主轴孔位置, 同时, 铸件沿主轴位置具有一定程度的对称性。从操作角度来考虑, 在垂直于主轴轴线的中间位置分型, 可以降低造型高度, 方便起模, 而且利用主轴孔安置, 可使主型腔型芯定位准确、牢靠。但由于该铸件内部质量要求极高, 尤其是连接缸盖的部位和主轴孔部位, 不允许有铸造缺陷, 所以, 浇注过程中保证液态金属的平稳流动很关键。不能选择顶注或中间注入式浇注系统, 而底注式浇注系统用于这类薄壁箱体类铸件容易产生浇不足或冷

作者简介:

陈宗民(1963-), 男, 副教授, 硕士, 主要研究方向为铸造新工艺新材料。电话: 13506437300, E-mail: mabenshu@126.com

中图分类号: TG244

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2019)07-0764-05

收稿日期:

2019-02-15 收到初稿,
2019-03-07 收到修订稿。

隔。因此，综合考虑上述要求，选择平做立浇方式，即分型位置和浇注位置垂直。如图2所示。这种位置方便放置浇注系统在造型分型面上的布局，有利于阻隔夹杂物进入型腔，有利于夹杂物上浮^[2]。平做立浇工艺不仅用于灰铸铁，在球墨铸铁^[3]、铸钢^[4-5]和有色金属^[6-7]中也得到了成功的应用。在不同类型铸件和铸造材料的应用中，其目的都是通过平做立浇工艺简化操作，改进浇注和凝固状况。

3 砂芯

(1) 主型腔砂芯。主型腔内腔体积较大，砂芯沿分型面分割成两块，方便芯盒、砂芯的制作以及型芯的翻转、定位和紧固。芯头设置如图3a、b所示。同时，主型腔中不在分型面上的圆孔、肋板及无法取芯盒料的部分需要单独设置型芯，主型芯分开后方便小

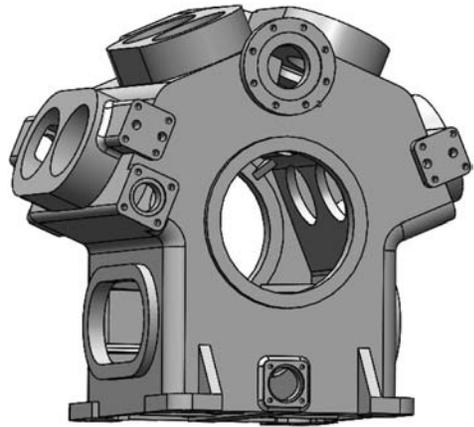
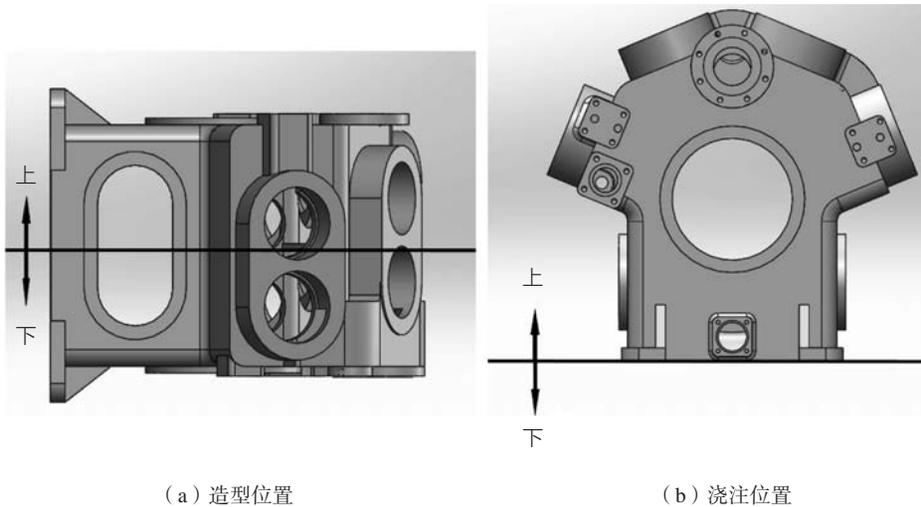
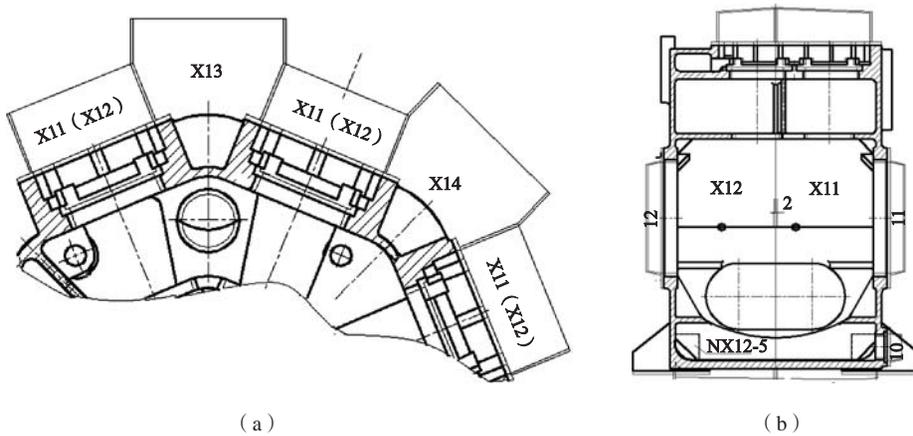


图1 铸件的结构
Fig. 1 Structure of freezer housing



(a) 造型位置 (b) 浇注位置

图2 平做立浇铸造工艺简图
Fig. 2 Casting process drawing showing horizontal molding position



(a) (b)
图3 主型腔砂芯X11、X12及芯头
Fig. 3 Sand cores X11, X12 and core prints located in main mold cavity

Fig. 3 Sand cores X11, X12 and core prints located in main mold cavity

型芯的安放,如图3中NX12-5、图4中X11-1、X11-2、X12-1、X12-2所示。

(2) 排气室外部妨碍起模的部分,用砂芯X13、X14解决,如图3、图5相应部位所示。

(3) 排气腔由砂芯X10形成,如图5、图6相应部位所示。

4 底雨淋加阶梯式浇注系统设计

根据冷冻机体复杂的结构特点和高的质量要求,本工艺采用平做立浇。沿缸套连接口处设置多个内浇道,液态金属分散进入,形成类似底雨淋结构。虽然这类浇注系统有诸多优点,但若只采用底注式布局,则铸件会产生反顺序凝固,上下部温度不均衡。所以,本工艺所采用的底注雨淋加阶梯式开放式浇注系统是相当理想的。生产实践表明:这种浇注系统可以有效地阻挡异物进入型腔,使熔渣和氧化皮不至粘附于型壁,因而可避免铸件夹渣^[8];自下而上的充型方式使金属液流动平稳^[9];雨淋式内浇口使液态金属充型分散,防止局部热节;阶梯式结构可以调节温度,使凝固过程趋于同时凝固,有利于铸件的自补缩^[10];同时,均匀的温度场降低了铸造热应力,可有效降低产生变形和裂纹的可能性。在直浇道底端设置缓冲集渣包可减小由于流动方向和速度改变造成的紊流区;横浇道端部设置集渣包,可将流动前沿含有较多杂质和气体的低温液流截留至此,保证进入型腔的液态金属足够纯净。因此,采用这种复合浇注系统,既保证了冷冻机体表面质量、尺寸精度,又使冷冻机体组织细密,质地均匀,可有效地满足冷冻机体的使用性能要求。浇注系统整体布局如图7所示。

如果设计不当,液态金属在阶梯式浇注系统中不能按预想的方式注入,容易产生各层同时注入,造成流动紊乱,达不到预期效果。因此,在设计时必须满足两个条件:①连接各层内浇道的分配直浇道(包括缓冲直浇道、反直浇道)应呈非充满状态;②分配直浇道中液态金属的自由液面以下的有效压力头,应小于两层内浇道之间的距离^[11]。主要计算包括如下内容。

(1) 直浇道高度。为防止铸件最远端和最高端薄小部分产生浇不足、冷隔以及铸件棱角和轮廓不清晰等缺陷,直浇道要有足够的浇注静压头。即铸件最高部位或最远端到浇口盆液面的高度大于或至少等于最小值 H_M ,计算公式如下:

$$H_M \geq L \times \tan \alpha \quad (1)$$

式中: H_M 称为最小静压头; L 为直浇道中心到铸件最高且最远点的距离; α 称为压力角,即铸件最高最远端距直浇道中心最高处的连线与水平面的夹角。

本铸件 $L=1\ 050\ \text{mm}$,根据相关资料,取 $\alpha=8^\circ$,

计算出最小剩余压力头 $H_M \geq 1\ 050 \times 0.141 = 148\ \text{mm}$ 。可根据此计算值设计砂箱宽度(因平做立浇时,浇注高度从砂箱宽度方向上计算),使之能满足要求。

(2) 确定充型时间,核算金属液不产生浇不足、冷隔的最小上升速度。对于中型铸铁件,浇注时间 t 按以下公式核准:

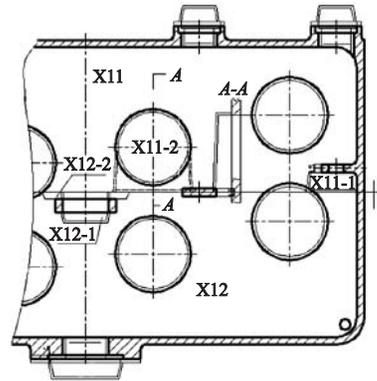


图4 安置在主型腔砂芯X11、X12上的部分小型芯
Fig. 4 Some small cores installed on sand cores X11 and X12

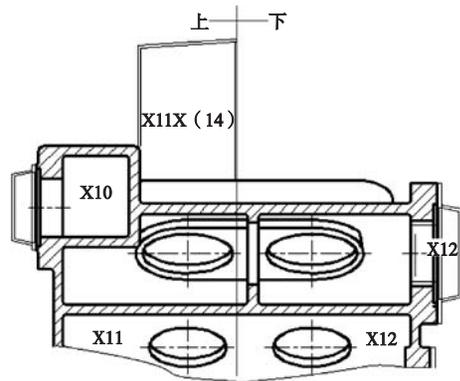


图5 用砂芯X13、X14解决起模问题
Fig. 5 Sand cores X13 and X14, to facilitate pattern drawing

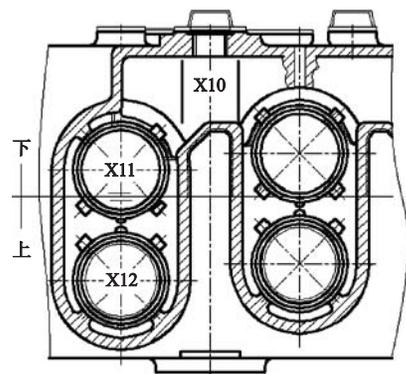


图6 用砂芯X10形成排气型腔
Fig. 6 Sand core X10, to form exhaust cavity

$$t = S_1 \sqrt[3]{\delta G_L} \quad (2)$$

式中： S_1 是系数，一般情况下取2，充型温度偏低、底部浇注时，取 $S_1=1.7 \sim 1.9$ ；该件平均壁厚 $\delta=15 \text{ mm}$ 。 G_L 为液态金属的浇注量。该铸件重量488 kg，按出品率85%，计算出金属浇注量 $G_L=574 \text{ kg}$ ，代入上式计算出浇注时间 $t=37 \text{ s}$ 。

核算液态金属上升速度用式(3)：

$$v = \frac{C}{t} = \frac{920}{37} = 25 \text{ mm/s} \quad (3)$$

式中： C 为铸件的浇注高度， t 为浇注时间。以上计算的浇注时间和液态金属上升速度符合相关文献推荐的有关薄壁箱体类铸件的数据。

(3) 浇道截面积：阶梯式浇注系统中为了保证分层注入，防止“乱浇”现象，将最小截面设置在分配直浇道的上端处（和直浇道连接处），按以下公式计算：

$$S_{阻} = \frac{G_L}{0.31 \mu_1 t \sqrt{H_p}} \quad (4)$$

式中： $S_{阻}$ 为阻流截面面积； G_L 为铸件浇注总重量； t 为浇注时间； μ_1 为从浇口杯到阻流截面的流量损耗系数，本工艺中直浇道较短，可取0.5； H_p 为阻流截面平均计算压头，由下式计算：

$$H_p = H_0 - \left(\frac{P^2}{2C}\right) = 200 \text{ mm} \quad (5)$$

式中： H_0 为最小截面以上的液态金属静压力，本工艺中 $H_0=200$ （直浇道高度和浇口杯高度之和）； P 为最小截面以上的铸件高度，本工艺中 $P=0$ ； C 为铸件的总高度，对于底注式： $P=C$ 。计算后得到 $S_{阻}=26 \text{ cm}^2$ 。理论上，浇注时直浇道必须处于不充满状态，并且其自由液面下的静压力要小于两层内浇道之间的距离。根据经验，其截面积可取阻流截面积的2倍^[12]。底层内浇道截面积可按式(6)进行计算：

$$S_{内(底)} = \frac{\mu_1 \sqrt{H_0}}{\mu_2 \sqrt{Kh_0}} S_{阻} \quad (6)$$

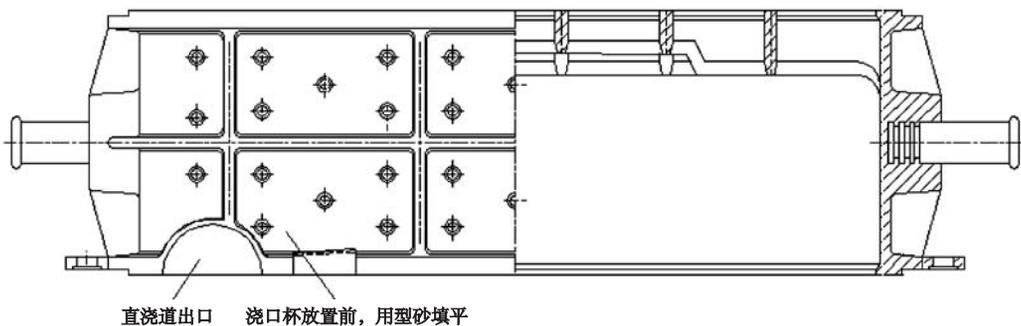


图8 专用砂箱结构

Fig. 8 The framework of specially designed flask

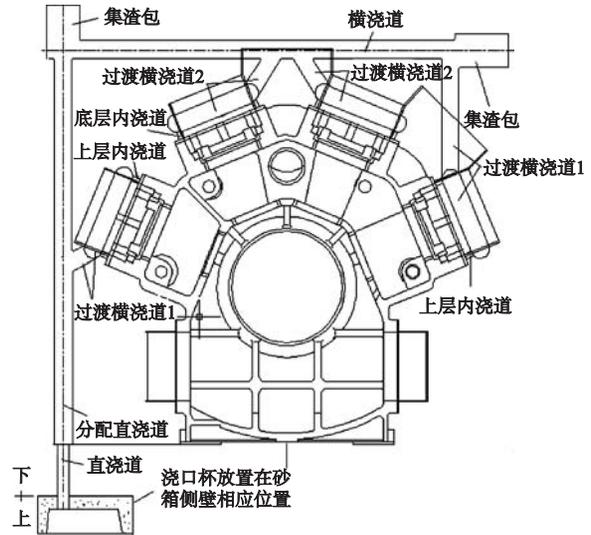


图7 底雨淋阶梯式浇注系统布局

Fig. 7 Layout of bottom shower gate with step gating system

μ_1 同公式(5)； μ_2 为分配直浇道中自由液面到型腔内自由液面的流量系数，根据相关资料，可取 $\mu_2=0.5$ ， $K=0.25 \sim 0.5$ 。 h_0 为两层内浇道的距离，上层内浇道的总截面积可取底层的2倍。横浇道截面积可等同于分直浇道，本工艺采用的直浇道、分直浇道和横浇道以直浇道截面积（阻流截面积）为基的总截面比为：

$$S_{直} : S_{分直} : S_{横} = 1 : 2 : 2$$

而上、下层过渡横浇道和内浇道以底层内浇道为基的总截面比为：

$$S_{过1} : S_{内(上)} : S_{过2} : S_{内(底)} = 2 : 2 : 1 : 1$$

5 平做立浇专用砂箱的设计

由于工艺方案采用的是“平做立浇”方式，直浇道与砂箱侧壁垂直，在合箱之后需要进行翻箱，翻箱后在侧壁放置浇口杯并进行浇注，所以在侧壁相应位置开设直浇道出口，并在铸件侧壁设置足够大的出气

孔。浇注时,砂箱侧壁挂铁不易清理,因此在放置浇口盆时,侧壁加强肋处用型砂填平。翻箱操作时有可能造成型芯松动,导致尺寸变化、掉砂,因此这类砂箱需要设置足够牢靠、数量足够多的紧固件;在翻动时,操作幅度小而慢并在砂型翻动场地垫缓冲物(如松软型砂、废旧轮胎等)。

上下砂箱基本对称,具体形状如图8所示。为提高砂箱使用寿命,拐角处设计成双层壁结构^[12]。

6 结论

(1) 平做立浇兼顾了冷冻机体铸件造型操作方便

和充型平稳、分散的要求。

(2) 底雨淋加阶梯式浇注系统是该铸件一种可行的浇注方法。只要内浇口位置、形状和数量合适,浇口比设计合理,就可保证液态金属分散注入型腔并实现分层注入,既保证充型平稳,又可以通过分层内浇道的布局控制整个型腔上下部位进入的液态金属量,从而使铸件整体在凝固过程中温度均衡。

(3) 平做立浇需要专用砂箱,在设计时要精确计算铸件在砂箱中的位置,使得直浇道能够通过砂箱的侧面出口引出。

参考文献:

- [1] 尚磊,曾妍文,王磊,等.压缩机市场发展分析[J].制冷技术,2016,36(S1):8-24.
- [2] 黄连帅,刘思涛,周武,等.机床滑枕类铸件工艺改进[J].铸造技术,2012(12):625-626.
- [3] 袁艳欣,徐君东,李志博.平做立浇生产球墨铸铁主轴铸件[J].现代铸铁,2007(4):34-35.
- [4] 夏卿坤.铸钢齿轮的三种浇注工艺[J].铸造,1994(1):19-21.
- [5] 李谟康.平做立浇、倾斜浇注工艺在铸钢生产中的应用[J].铸造技术,2003(6):559-559.
- [6] 吴星,黄力,杨为勤,等.锡青铜双吸式离心泵体的砂型铸造工艺[J].铸造,2018,67(6):542-545.
- [7] 张胜全,侯新刚.滑块铸造工艺改进[J].热加工工艺,2007,36(17):86-87.
- [8] 刘平,卢水金,卢刚,等.薄壁大平板铸件的串铸工艺[J].铸造技术,2005(2):145-146.
- [9] 薛冰,陈宗民.砂型铸造套筒类铸件的浇注系统特点[J].中国铸造装备与技术,2006(5):39-40.
- [10] 陈宗民,盛文斌,谷建利.一种床头箱的封砂铸造工艺实践[J].铸造,2018,67(2):189-181.
- [11] 王文清,李魁盛.铸造工艺学[M].北京:机械工业出版社,2011:268-274.
- [12] 陈宗民,秦聪祥,赵而团.减速箱箱座砂型铸造工艺和金属模样设计[J].铸造技术,2018,39(12):2741-2744.
- [13] 陈宗民,聂干草.中小型普通卧式车床床身铸造工艺[J].铸造,1999(9):22-24.

Casting Process Design of Horizontal Position Molding and Vertical Position Pouring for Freezer Housings

CHEN Zong-min¹, CHEN Qiang²

(1. College of Mechanical Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, Shandong, China; 2. Shandong Honsin Group, Weifang 261307, Shandong, China)

Abstract:

The casting process for freezer housing which is a kind of thin-walled box casting is introduced. This casting is characterized by its complexity of contour profile and cavity. Due to the requirements of pressure-bearing and anti-leakage in the working environment, no defects are tolerated in this casting and pressure leakage tests are required. A casting process with horizontal position molding and vertical position pouring is adopted, which takes into account both the molding and liquid metal filling. Bottom shower gating plus step gating system is designed to disperse the liquid metal into the mold cavity, in which the layered filling is realized by controlling the section ratio of each unit in the gating system. The special flask is designed for this process. In this design of casting process, the molding height is reduced, sand core assembly is very convenient, and molten metal can be poured smoothly, so temperature balance is realized and internal stress is reduced.

Key words:

casting process; casting; horizontal molding and vertical pouring; bottom shower with step gating system; casting for freezer housing