

# 灰铸铁前轴承座上半铸件的 铸造工艺设计

王嘉敏<sup>1</sup>, 贾济语<sup>2</sup>, 韩朋作<sup>2</sup>, 马玉琪<sup>2</sup>,  
王宇仙<sup>2</sup>, 赵婧儒<sup>2</sup>, 向青春<sup>2</sup>

(1. 沈阳工业大学信息科学与工程学院, 辽宁沈阳 110870; 2. 沈阳工业大学材料科学与工程学院, 辽宁沈阳 110870)

**摘要:** 轴承座铸件对机械设备的可靠运行具有重要作用, 而对中大型高质量轴承座铸件的铸造工艺进行研究对于装备制造业的发展具有实际意义。本文主要对灰铸铁前轴承座上半铸件进行铸造工艺设计和优化。采用一箱一件、小批量生产, 砂型重力铸造, 利用呋喃树脂自硬砂造型和制芯; 采用曲面分型, 两箱造型, 减少了砂芯的数量, 使整个铸造工艺大大简化。采用封闭式底注式浇注系统, 各浇道横截面面积比为 $\sum A_{直} : \sum A_{横} : \sum A_{内} = 1.4 : 1.2 : 1$ , 浇注温度为 $1\ 350\ ^\circ\text{C}$ , 浇注时间为 $35\ \text{s}$ , 并利用ProCAST数值模拟软件首先对铸件裸件进行了仿真分析, 根据铸件的缺陷状况模拟结果, 然后分别进行了冒口设计和冷铁设计。通过一个明顶缩颈普通冒口和两个保温冒口相结合, 再配合相应冷铁设计, 使铸件实现了顺序凝固, 尤其对铸件的厚大部位实现了良好的补缩, 获得了内部无缩孔、疏松缺陷的铸件。

**关键词:** 轴承座; HT250; 铸造工艺设计; 顺序凝固; 数值模拟

## 作者简介:

王嘉敏(2004-), 女, 本科生, 主要从事铸造工程数字智能技术研究。E-mail: 18794430228@163.com

## 通信作者:

向青春, 男, 博士, 教授。E-mail: xiangqchun@yeah.net

中图分类号: TG242

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2025)12-1627-08

## 基金项目:

沈阳工业大学 2023 年大学生创新创业训练计划项目省级项目; 沈阳工业大学 2020 年专创融合课程建设项目(100600056)。

## 收稿日期:

2025-02-08 收到初稿,  
2025-05-06 收到修订稿。

轴承座对机械设备的运行有着至关重要的作用, 它主要是对轴承进行支撑和固定, 同时还要保障对轴承具有良好的润滑和密封作用, 以便更好地保障机械设备的正常运行<sup>[1-2]</sup>。汽轮机轴承座作为汽轮机的重要零部件, 用来承受运动部件的全部重力, 同时与多个结构连接配合, 兼具气体通道、液体润滑与密封等功能, 因此需要足够的结构强度和稳定性<sup>[3]</sup>。对大尺寸高质量轴承座铸件的铸造工艺进行研究, 对国内汽轮机的制造具有积极意义<sup>[4]</sup>。

大型轴承座往往分成两部分进行制作, 如该前轴承座分成上、下两半部分。该前轴承座上半为汽轮机的前轴承箱体的上半部分, 主要作用是用来承载、安装、定位以及保护轴承, 阻止灰尘等异物侵入, 其内注有润滑油, 在工作过程中, 通过润滑使运动部件工作时在轴承上产生的摩擦磨损最小。同时, 前轴承箱内的运动部件在工作时所受到的各种力也会传递到轴承座上, 由轴承座承载。由于承受高温及高应力载荷, 因此该前轴承座上半铸件需要足够的刚度和强度, 以及足够高的抗震性和抗热变形性能。而且, 该铸件底部要与轴承座下半部分配合使用, 而铸件上部需要与其他多个部件装配, 铸件两端和内部多处需要装配轴承, 因此铸件的精度要求也比较高<sup>[5]</sup>。

该前轴承座上半铸件结构相对复杂, 壁厚不均, 最大壁厚与最小壁厚相差近8倍, 最厚壁处达 $153\ \text{mm}$ , 大大增加了该铸件的铸造技术难度。而且, 该铸件的技术要求中明确不允许有影响使用性能的缩孔、疏松、气孔和夹砂等铸造缺陷。结合该铸件的技术要求和结构特点<sup>[6]</sup>, 本文利用ProCAST数值模拟软件<sup>[7-9]</sup>, 对其铸造工艺进行理论计算和模拟优化, 以期获得最佳的铸造工艺参数和铸造工艺方案, 为该类轴承座铸件的实际生产提供理论指导。

## 1 铸件的结构特点和铸造工艺性分析

图1为该前轴承座上半部分的零件三维图及铸件三维图。零件的轮廓尺寸为1 095 mm × 910 mm × 380 mm, 零件净重为566 kg。经过综合考虑不铸出的孔和槽、添加机加工余量以及起模斜度以后<sup>[10]</sup>, 将零件三维图变成了铸件三维图, 如图1(c)所示。该铸件为中小型铸件, 单件小批量生产, 其结构特点为壁厚不均, 相差较大, 如图1(d)所示, 平均壁厚为25 mm, 最小壁厚为20 mm, 最大壁厚为153 mm, 厚大部位处在凝固过程中容易形成热节, 从而容易产生缩孔、疏松缺陷。其内部存在较大空腔, 且大的空腔被内部三个轴承座隔开, 而内部三个轴承座部分均带有凸缘, 导致不能直接起模, 只能用砂芯予以成形。其两侧圆周面

上各存在一个窗口结构, 其中一个窗口为方形, 另一个窗口为圆形, 均会妨碍直接起模, 需要考虑利用活块来进行造型和制芯。其内部还有一个狭长弯曲的注油孔, 这也是其铸造难点之一。

本铸件采用呋喃树脂自硬砂手工造型和制芯, 采用醇基石墨涂料涂刷铸型和砂芯。铸件的材质为HT250, 铸造性能较好。灰铸铁共晶团中的片状石墨与枝晶间的共晶液体直接接触, 其片状石墨长大时所产生的体积膨胀大部分作用在所接触的晶间液体上, 迫使它们通过枝晶间的通道去充填奥氏体枝晶间因液态收缩和凝固收缩所产生的小孔洞, 从而大大降低了灰铸铁产生疏松的严重程度<sup>[11]</sup>。由于HT250本身具有一定自补缩能力, 在冒口设计时必须予以充分考虑。

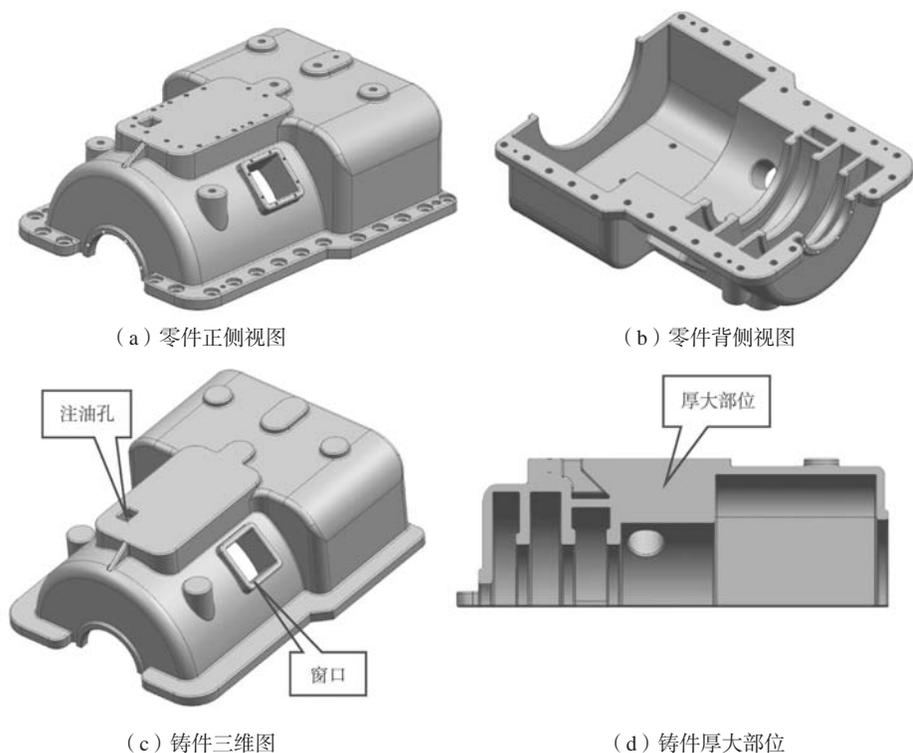


图1 零件及铸件三维图

Fig. 1 3D drawings of the part and the casting

## 2 铸造工艺方案设计

### 2.1 浇注位置及分型面

浇注位置是指浇注时铸件在铸型中所处的位置。浇注位置是根据铸件的结构特点、尺寸、重量和技术要求等制定的。正确的浇注位置能保证获得完整的铸件, 并使造型、制芯和清理方便。通过查阅铸造工艺手册<sup>[12]</sup>及比较不同浇注位置的优缺点之后, 选择如图2所示的浇注位置, 此浇注位置保证了与轴承相配合的几个重要机加工面的质量, 同时较大平面置于上部,

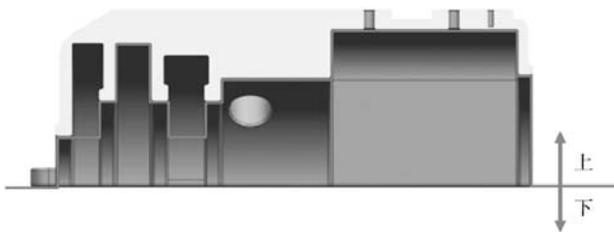


图2 浇注位置及分型面

Fig. 2 Pouring position and parting surface

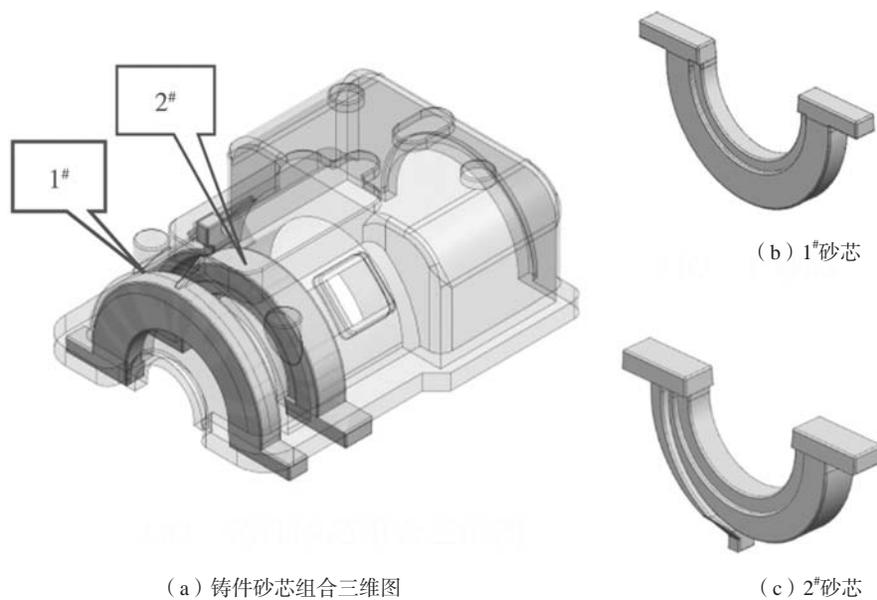


图3 两个砂芯的三维模型图  
Fig. 3 3D models of two sand cores

方便放置冒口进行补缩。

分型面一般在浇注位置确定后再进行选择。根据该铸件的结构特点，该铸件采用曲面分型，如图2中红色分型线所示。这种分型面方案能将铸件大部分内部空腔直接用下型做出来，从而减少了砂芯的使用数量，使工艺变得更加简单。

## 2.2 砂芯的设计

根据铸件结构共设计了两个砂芯，如图3所示。铸件与砂芯组合在一起的三维图如图3(a)所示。其中铸件内部最前端的轴承座结构由1#砂芯制作而成，如图3(b)所示，注油孔结构和与其相紧邻的轴承座结构由2#砂芯形成，如图3(c)所示。

## 2.3 浇注系统设计

### 2.3.1 浇注系统设计计算

浇注系统的分类根据浇注系统各单元截面积的比例关系，可分为封闭式、半封闭式、开放式和封闭开放式4种类型。本铸件采用的是封闭式浇注系统，根据铸造手册<sup>[12]</sup>，本铸件浇注系统截面积比取 $\Sigma A_{\text{冒}} : \Sigma A : \Sigma A_{\text{内}} = 1.4 : 1.2 : 1$ 。按照内浇道在铸件上的相对位置不同，分为顶注式、底注式和阶梯注入式等几种类型。底注式浇注系统充型时内浇道基本在淹没状态下工作，充型平稳，可避免金属液发生激溅、氧化及由此形成的铸造缺陷，横浇道也基本处于充满的状态下，有利于挡渣，型腔内空气容易顺序排出，故考虑用底注式浇注系统。各浇道位置及其横截面尺寸如图4所示。

通过查阅相关文献，铸铁件的有效浇注时间用公式(1)计算<sup>[13]</sup>。

$$t = \sqrt{G_{\text{件}}} + \sqrt{\frac{1}{5} \delta \cdot G_{\text{件}}} \quad (1)$$

式中： $t$ 为浇注时间，s； $G_{\text{件}}$ 为一型铸件净重量（不包括浇冒口重量），kg； $\delta$ 为铸件的主要壁厚（一般指最小壁厚），mm。

铸件净重为 $G_{\text{件}} = 573$  kg，最小壁厚 $\delta = 20$  mm，计算所得浇注时间约为 $t = 35$  s。

由阻流断面设计法<sup>[12]</sup>计算得 $\Sigma A_{\text{阻}} = 26.4$  cm<sup>2</sup>。由于内浇道个数为8个，其截面为梯形，所以每个内浇道的截面积约为3.3 cm<sup>2</sup>，其具体尺寸如图4(d)所示。直浇道的横截面积为37 cm<sup>2</sup>，其具体尺寸如图4(b)所示。横浇道的总截面积为32 cm<sup>2</sup>，个数为2个，其具体尺寸如图4(c)所示。

### 2.3.2 裸件数值模拟分析

利用UG三维建模软件进行三维实体绘制，导入ProCAST 2021数值模拟软件中，在mesh模块进行网格剖分，体网格数为1 138 332个。然后对相关初始条件和边界条件进行设置：浇注温度为1 350 ℃，浇注时间为35 s，铸件的材质为HT250，砂型为树脂自硬砂，冷铁材质为HT250。再对相关热物性参数进行设置：砂型和铸件之间的热交换系数取1 000 W/(m<sup>2</sup>·K)，砂型和冷铁之间的热交换系数取1 000 W/(m<sup>2</sup>·K)，铸件与冷铁之间的热交换系数取2 000 W/(m<sup>2</sup>·K)，铸件的冷却方式为空冷<sup>[14]</sup>。相关参数设置完成后，利

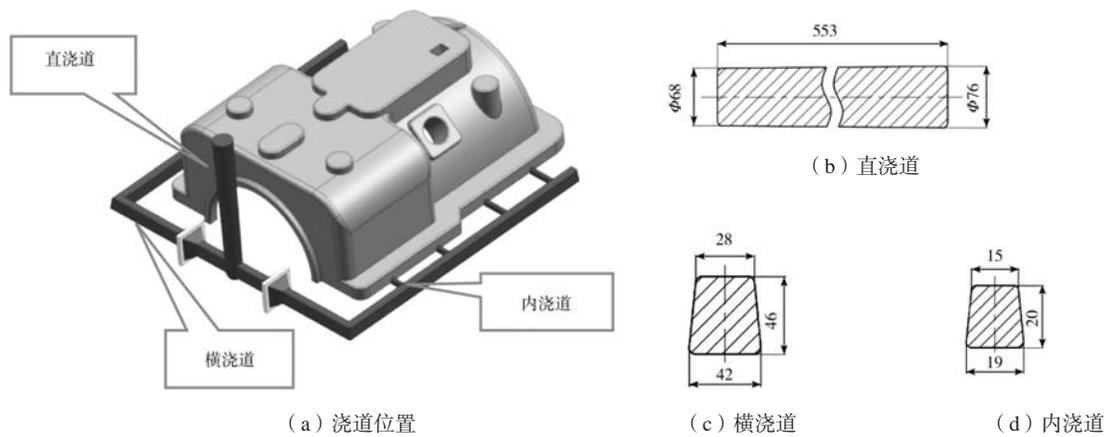


图4 浇注系统各浇道位置及其横截面尺寸

Fig. 4 Position and cross-sectional dimensions of each part of the gating system

用ProCAST 2021软件进行数值模拟和模拟结果分析。

(1) 充型过程分析。对仅有浇注系统的铸件进行数值模拟，其充型过程数值模拟结果如图5所示。

从充型过程模拟结果图5(a)至(d)中可以看出，金属液从底面开始充型，然后逐渐上升。在整个充型过程中，金属液充型比较平稳，没有明显的金属液飞溅，没有发现明显的紊流和卷气现象。整个充型

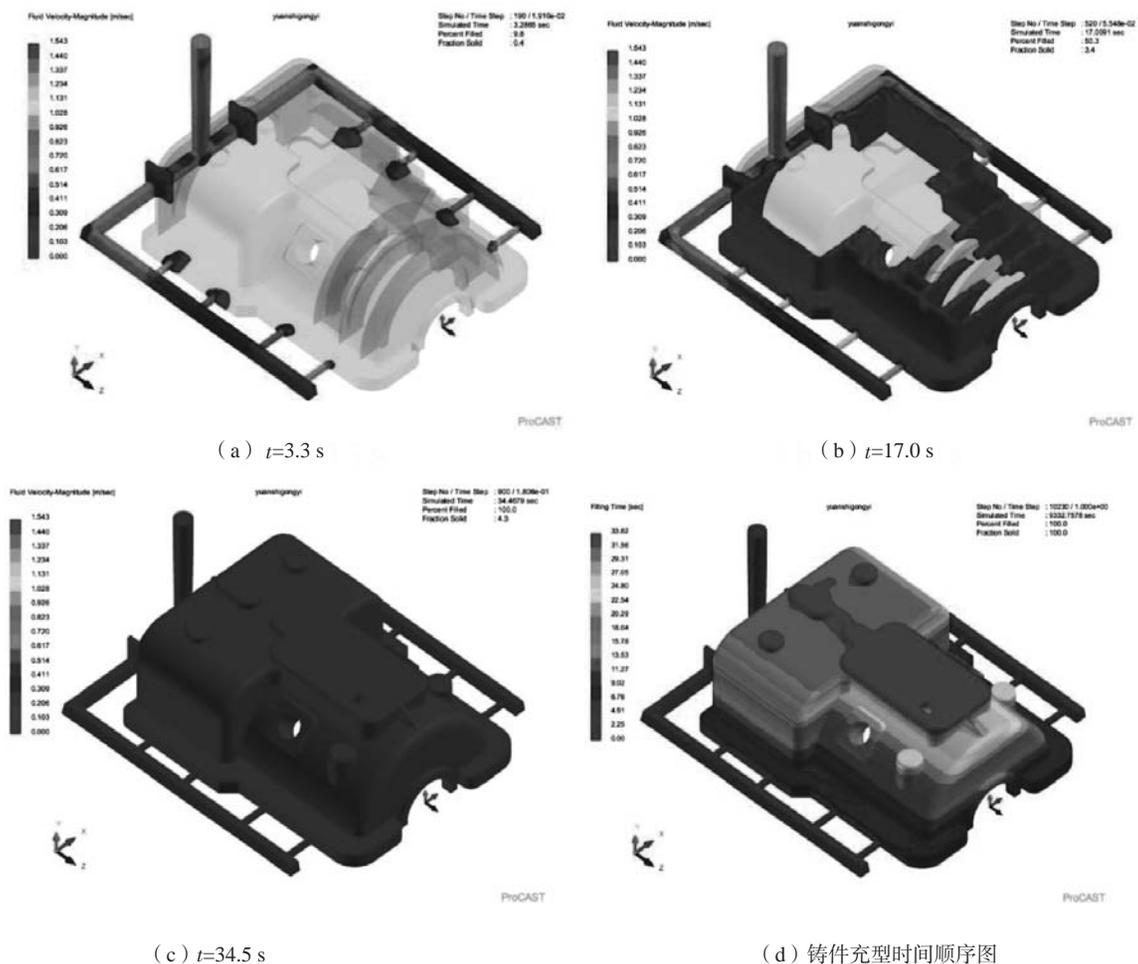


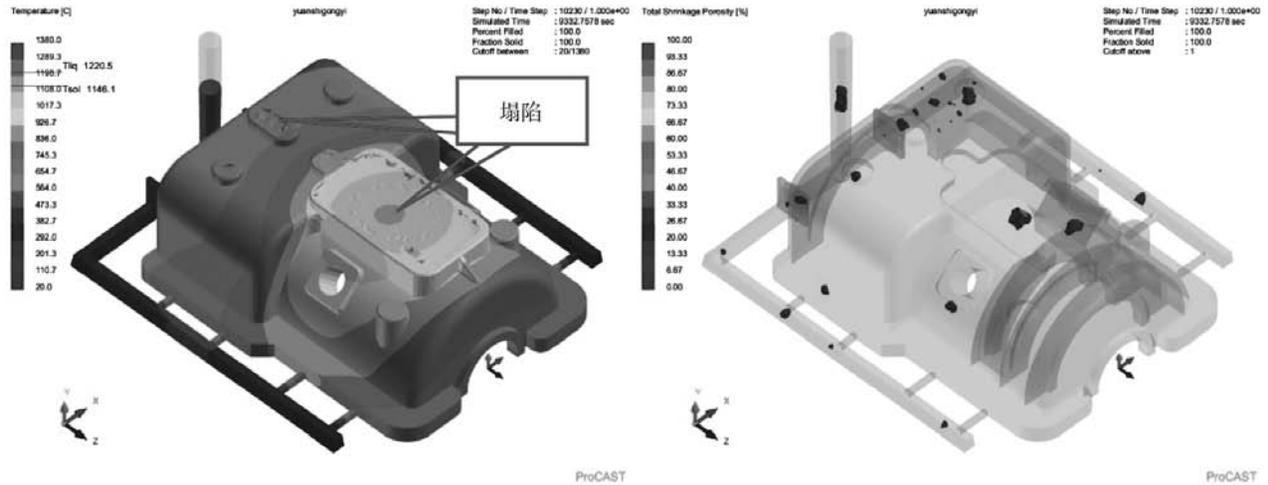
图5 铸件充型过程数值模拟结果

Fig. 5 Numerical simulation results of the filling process of the casting

时间约为35 s，与计算结果基本一致。

(2) 铸件缺陷分析。图6所示为铸件裸件模拟结果的缺陷状况。从图6(a)可以看出，铸件顶部厚大部位处出现了大面积塌陷缺陷，主要是由于铸件在该部位壁厚最大，达145 mm，是铸件最后凝固的区域，由于没有冒口对其液态收缩和凝固收缩进行补

缩，导致产生塌陷缺陷。在铸件顶部的椭圆形凸台处也发现存在塌陷缺陷。从图6(b)的缩孔疏松缺陷分布状况可以看出，缩孔、疏松缺陷主要存在于铸件壁厚相对较大的地方，即与铸件的热节位置基本一致<sup>[6]</sup>。



(a) 凝固后表面塌陷状况 (b) 缩孔疏松缺陷分布状况

图6 铸件裸件的缺陷模拟结果

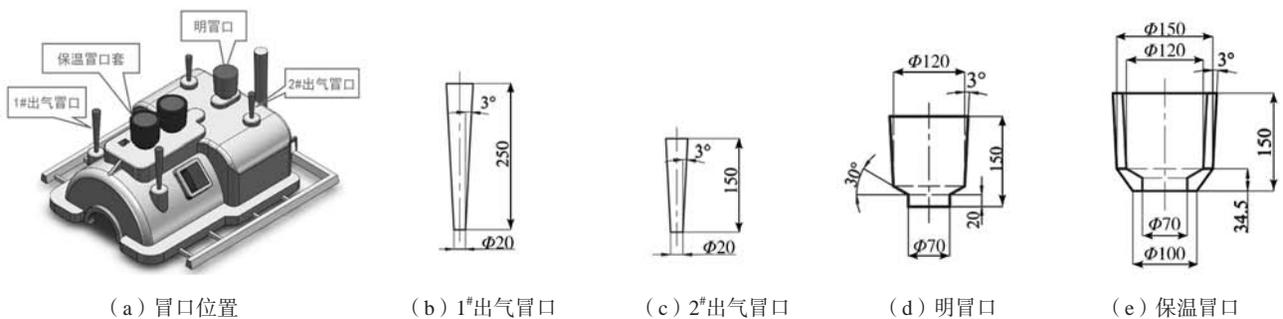
Fig. 6 Simulation results of the defects in the casting merely with a gating system

### 2.4 冒口设计

根据铸件裸件的模拟结果，在铸件热节的相应位置设置7个冒口，包括1个明顶冒口、2个保温冒口和4个出气冒口，如图7所示。冒口的具体位置如图7(a)所示。根据铸造手册<sup>[12]</sup>上铸铁件冒口设计的收缩模数

法，并结合经验比例法，分别确定各冒口的具体尺寸。各冒口的具体尺寸如图7(b)-(e)所示。

添加冒口后，采用相同的模拟参数，再次利用ProCAST软件对其进行数值模拟。所得缩孔疏松缺陷模拟结果如图8所示。



(a) 冒口位置 (b) 1#出气冒口 (c) 2#出气冒口 (d) 明冒口 (e) 保温冒口

图7 冒口设计

Fig. 7 Design of the risers

从图8中可以看出，与图6(b)铸件裸件的缩孔、疏松缺陷状况相比，铸件中的缩孔、疏松缺陷已经大大减少，但在左端两侧圆形凸台部位、中间最厚大部位、两侧圆形窗口和方形窗口部位仍存在缩孔、疏松缺陷，因此需要通过添加冷铁来对这些厚壁热节部位

进行激冷，即通过冒口和冷铁配合使用来消除铸件内仍然存在的缩孔、疏松缺陷。这里需要说明的是，由于在铸件最厚大部位顶部和椭圆形凸台部位上设置了补缩冒口，铸件裸件原来出现的塌陷缺陷已经不复存在。

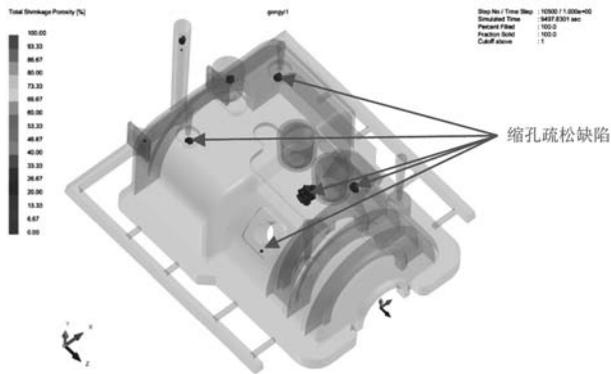


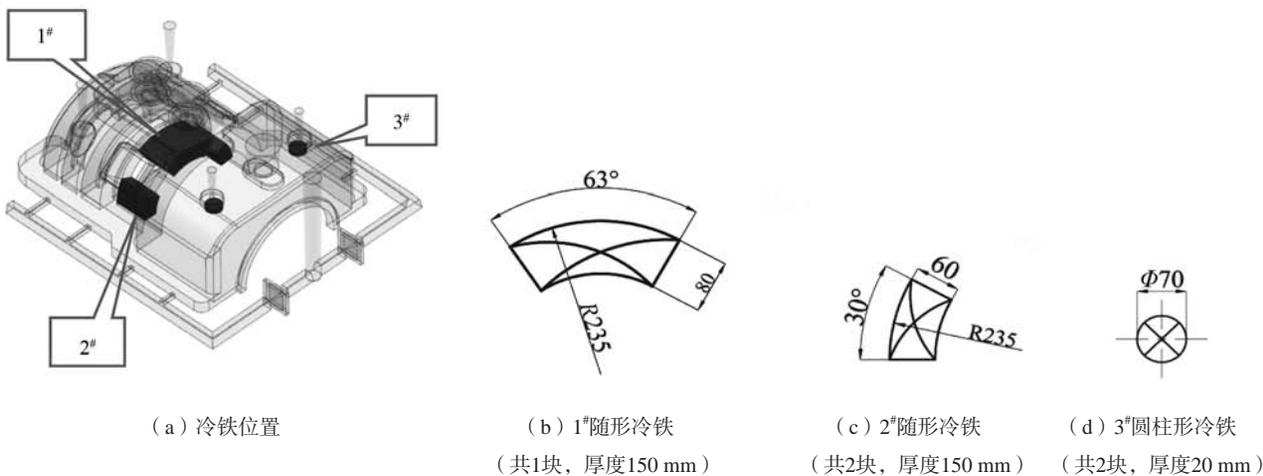
图8 铸件添加冒口后的缩孔疏松缺陷模拟结果

Fig. 8 Simulation results of the shrinkage defects in the casting with risers

### 2.5 冷铁设计

根据图8中的模拟结果，在铸件相应热节处共放置了5块外冷铁进行激冷，如图9所示。冷铁的放置位置如图9(a)所示。其中，在铸件最厚大部位热节处放置了三块随形外冷铁，1#随形外冷铁1块，其具体尺寸如图9(b)所示，2#随形外冷铁2块，分别用来调节方形窗口部位和圆形窗口部位的温度场和凝固顺序，其具体尺寸如图9(c)所示。两个小圆形凸台底部分别放置一块圆形外冷铁进行激冷以加快该热节部位的凝固速度，其具体尺寸如图9(d)所示。

添加冷铁后，采用相同的模拟参数，再次利用ProCAST软件对其进行数值模拟，所得缩孔、疏松缺陷模拟结果如图10所示。可以看出，铸件内缩孔、疏松缺陷已经被完全消除。而且在添加冷铁进行工艺优



(a) 冷铁位置

(b) 1#随形冷铁

(共1块，厚度150 mm)

(c) 2#随形冷铁

(共2块，厚度150 mm)

(d) 3#圆柱形冷铁

(共2块，厚度20 mm)

图9 冷铁设计

Fig. 9 Design of the chills

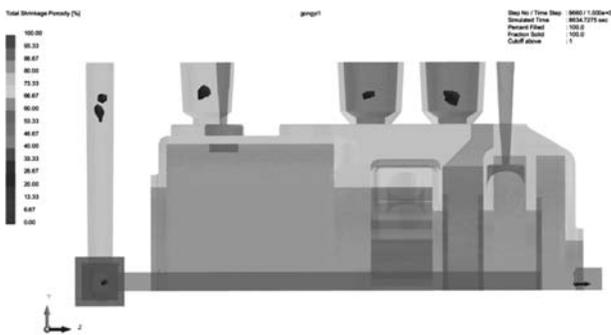


图10 铸件添加冒口和冷铁后的缩孔、疏松缺陷模拟结果

Fig. 10 Simulation results of the shrinkage defects in the casting with risers and chills

### 2.6 最终铸造工艺方案的凝固过程分析

该灰铸铁前轴承座上半铸件最终铸造工艺方案的整个凝固过程模拟结果如图11所示。从图11(a)可以看出，铸件的充型时间为35 s左右，在36 s时冒口充型完毕。随着时间的延长，铸件逐渐开始凝固。铸件整体呈现顺序凝固原则，即铸件上远离冒口部分先凝固，然后是椭圆形凸台部位的明顶冒口凝固，最后是铸件最厚大部位的保温冒口最后凝固，最终使缩孔留在冒口内，而铸件本身基本无缩孔、疏松缺陷。这里需要说明一下的是，这个最终铸造工艺方案的确定，包括浇注系统设计、冒口设计和冷铁设计等等，实际上是经过多次模拟和多次改进优化之后的最终结果。

## 3 结论

(1) 对灰铸铁前轴承座上半铸件的整个铸造

化后，缩短了铸件厚大部位的凝固时间，提高了铸件整体的组织致密性。

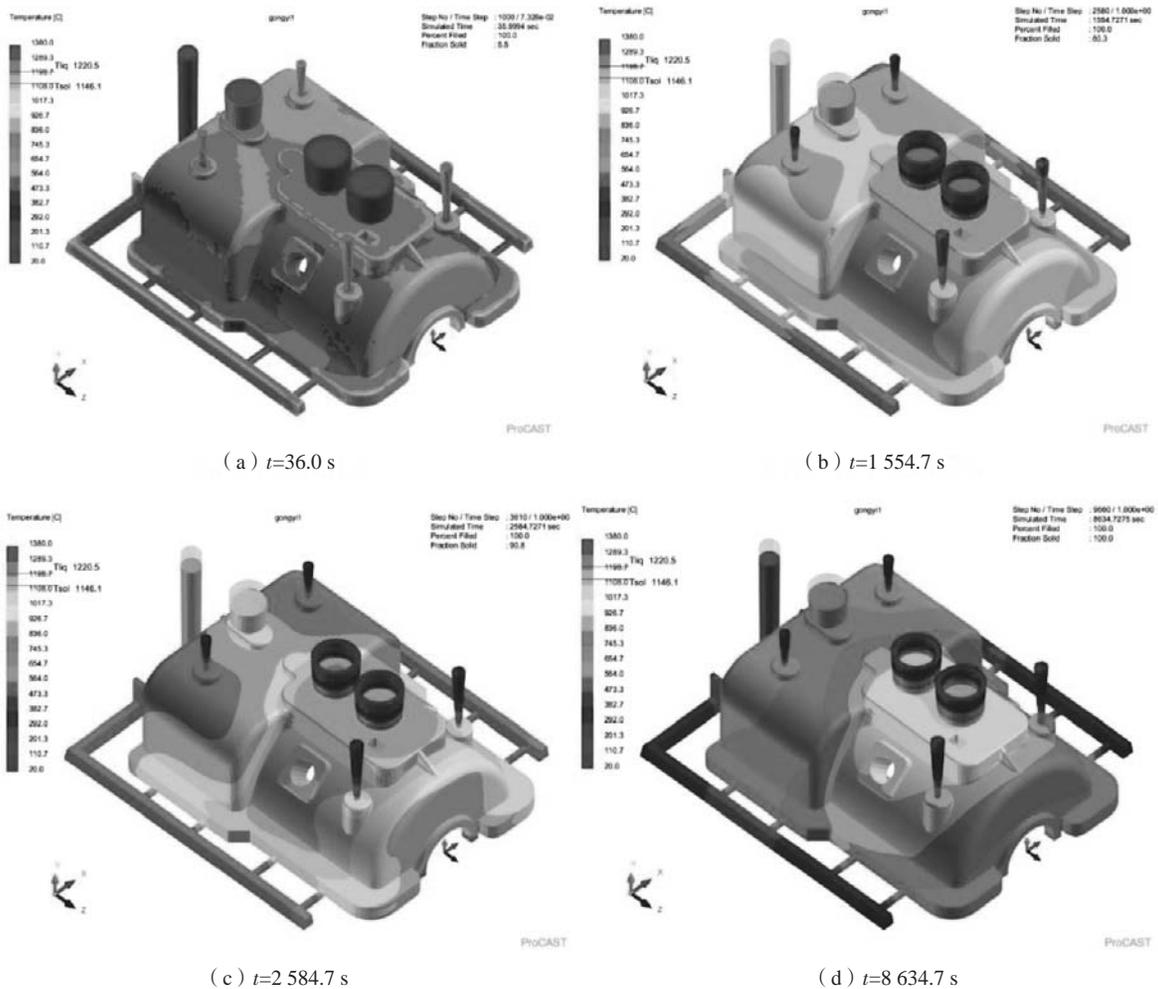


图11 铸件最终铸造工艺方案的凝固过程模拟结果

Fig. 11 Simulation results of the solidification process for the final casting process scheme

工艺方案进行了设计,采用曲面分型,减少了砂型和砂芯的数量,使整个铸造工艺简化;采用封闭式底部注入式浇注系统,浇道比为 $\Sigma A_{直}:\Sigma A_{横}:\Sigma A_{内}=1.4:1.2:1$ ,浇注温度为 $1\ 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,浇注时间为 $35\text{ s}$ ;采用明顶缩颈普通冒口和保温冒口相结合,再配合相应冷铁设计,使铸件实现了顺序凝固,尤其对铸件的

厚大部位实现了良好的补缩,获得了内部无缩孔、疏松缺陷的铸件。

(2) 利用数值模拟软件对该前轴承上半铸件进行工艺设计及优化,可以大大缩短铸件的生产周期,降低铸件的生产成本,尽可能提高铸件的工艺出品率。最终铸造工艺方案该铸件的工艺出品率为85%。

#### 参考文献:

- [1] 刘江波, 刘晓璇. 铸造工艺对机械轴承座性能的影响 [J]. 热加工工艺, 2018, 39 (5): 115-117, 120.
- [2] 边正海. 高强度厚大断面灰铸铁轴承座缩孔问题的工艺改进 [J]. 铸造设备与工艺, 2020 (4): 8-10.
- [3] 纳建虹, 宋亮, 陈鹏. 百万千瓦汽轮机轴承座的研发 [J]. 中国铸造装备与技术, 2020, 55 (4): 68-70, 71.
- [4] 沈红卫, 廖启才, 蒋毓良, 等. 超临界900MW汽轮机轴承座铸件的铸造 [J]. 铸造, 2004, 53 (1): 73-76.
- [5] 巩丽, 胡建军, 李旭. 某型工业汽轮机轴承箱关键制造技术研究 [J]. 东方汽轮机, 2014 (3): 34-37.
- [6] 廖劲成, 宋佳敏, 汪浪, 等. 数值模拟辅助优化轴承座灰铸铁件铸造工艺 [J]. 铸造工程, 2023 (6): 52-57.
- [7] KHAN M A, SHEIKH A K. A comparative study of simulation software for modelling metal casting process [J]. International Journal of Simulation Modelling, 2018, 17 (2): 197-209.
- [8] 南红艳, 胡玉昆, 米国发. 灰铸铁轴承座的两种铸造工艺方案数值模拟对比与选定 [J]. 热加工工艺, 2021, 42 (21): 86-88.

- [9] CHEN Z Y, LI Y Y, ZHAO F R, et al. Progress in numerical simulation of casting process [J]. Measurement and Control, 2022, 55 (5-6): 257-264.
- [10] 王一卓, 刘庭兰, 陈丽, 等. 浅谈由零件到铸件的关键设计过程 [J]. 铸造, 2024, 73 (1): 121-128.
- [11] 史鉴开, 史小雨. 灰铸铁表面缺陷和缩孔的产生及防止 [J]. 现代铸铁, 2005, 25 (1): 55-59.
- [12] 李新亚. 铸造手册: 铸造工艺卷 [M]. 3版. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [13] 彭显平, 刘文川. 灰铸铁件有效浇注时间计算公式的研究 [J]. 铸造技术, 2010, 31 (4): 396-400.
- [14] 张令. 砂型铸造过程中型芯与铸件界面换热系数的研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2019.

---

## Design of Casting Process of Upper Half of Gray Iron Front Bearing Seat

WANG Jia-min<sup>1</sup>, JIA Ji-yu<sup>2</sup>, HAN Peng-zuo<sup>2</sup>, MA Yu-qi<sup>2</sup>, WANG Yu-xian<sup>2</sup>, ZHAO Jing-ru<sup>2</sup>, XIANG Qing-chun<sup>2</sup>

(1. School of Information Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, Liaoning, China; 2. School of Materials Science and Engineering, Shenyang University of Technology, Shenyang 110870, Liaoning, China)

### Abstract:

Bearing seat castings play an important role in the reliable operation of mechanical equipment, and it has practical significance for the development of equipment manufacturing industry to study the casting process of medium and large-sized high-quality bearing seat castings. This article mainly focuses on the casting process design and optimization of the upper half casting of the gray iron front bearing seat. It is produced by means of sand gravity casting with one piece in one mold and in small batches. The furan resin self-hardened sand is utilized to make the molds and cores. By adopting the curved parting surface, merely two sand molds are needed, and the number of sand cores is reduced, greatly simplifying the entire casting process. The closed bottom-pouring gating system was designed, the ratio of the cross-sectional areas of sprue, runners and ingates is  $\sum A_{直} : \sum A_{横} : \sum A_{内} = 1.4 : 1.2 : 1$ , the pouring temperature is 1 350 °C, and the pouring time is 35 s. Firstly, the ProCAST numerical simulation software was used to simulate and analyze the casting process of the bare part which has merely a gating system. Then, based on the simulation results of the defect conditions of the casting, the designs of risers and chills were carried out separately. By combining the visible top necking-down ordinary riser with two insulation risers, together with the corresponding chills, the casting was solidified in accordance with the principal of directional solidification, and especially in the thick hot-spot parts of the casting, the good effect of feeding was achieved for the shrinkage. With the developed casting process, the upper half casting of the gray iron front bearing seat without the internal shrinkage and porosity defects can be obtained.

### Key words:

bearing seat; HT250; casting process design; directional solidification; numerical simulation