

基于 3D 打印的给水泵泵盖铸造工艺研究

周 佼, 潘宝强, 苏志东, 纳学洋

(共享铸钢有限公司, 宁夏银川 750021)

摘要: 根据产品的结构特点, 分析了泵盖铸造工艺及成形方案的难点。利用计算机仿真技术, 优化了铸造工艺, 解决了铸件补缩问题。由于泵盖轮廓小, 结构复杂, 内部有封闭气道, 常规造型方法无法成形, 通过在铸件上开设工艺孔及应用3D打印技术, 解决了其铸造成形问题。铸件的检测结果表明, 各项指标均符合要求。

关键词: 泵盖; 铸造工艺; 3D打印

主给水泵组是核电站二回路系统(主给水系统)的重要组成部分, 作为二回路的动力源, 在电站启动、运行、备用、调试和停运期间, 主给水泵组将除氧器的水抽出, 升压后通过高压加热器, 经超声波流量计、留量装置和给水调节阀将给水送至热量交换设备, 并将其水位维持在规定范围内^[1]。主给水泵由定子部件、抽芯壳体、泵轴、相背设置的两套轴封装置、驱动端轴承和非驱动端轴承组成, 其中定子部件包括泵体、泵体前后两端的前泵盖和后泵盖、轴承托架等^[2]。本文研究的是前泵盖的铸造工艺。

砂型3D打印技术近几年发展比较迅速且日趋成熟, 在各领域有着广泛的应用, 它具备3D打印技术的快速、便捷与灵活特性, 又与金属3D打印不同, 不直接形成工件本体, 而是以间接的方式参与生产制造。采用砂型3D打印无需设计与制作模具, 且铸造工艺设计方面更加开放与灵活, 不用考虑起模问题; 在实际操作过程中, 砂型3D打印能够实现整体打印, 提升铸型尺寸精度, 尤其针对复杂铸件, 显著减少砂芯数量, 减少组型装配操作过程产生的累计误差; 同时, 对于研制阶段, 砂型3D打印技术便于工艺优化迭代, 更加灵活; 节约模具成本、节省开模时间, 使得砂型3D打印技术能够实现复杂铸件的快速高效制备^[3]。

1 产品介绍

前泵盖铸件的轮廓尺寸为 $\Phi 450\text{ mm} \times 418\text{ mm}$, 重200 kg, 最大壁厚62 mm, 最小壁厚4 mm, 材质为ASTM A743 CA6NM。其结构如图1所示。

由于产品轮廓小, 尺寸要求严格, 铸造面尺寸公差等级CT10, 因此铸造过程中尺寸控制是重点。

此产品结构较复杂, 内腔有一圈 $80\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 的气道结构, 气道上开设有一 $50\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 的孔与内腔相连通。此孔开口太小, 无法直接铸出, 铸实后气道将会变成一个封闭结构, 无法成形。因此, 需要研究铸造工艺及成形方案来解决气道的铸造问题。

若采用传统的铸造方法, 则是实样造型+组芯或者完全组芯的成形方案。若采用实样模具, 在考虑起模的情况下需要设计起模斜度, 而铸件公差要求严, 设计起模斜度, 则尺寸可能已经超差; 同时, 内腔的芯子结构很复杂, 无法通过传统方法实现一个整芯的制造, 需要将芯子进行拆分, 而拆分后芯盒结构也会很复杂, 需要拆分出很多活料, 无法确保砂芯的尺寸, 并且制芯操作困难, 拆芯过程中极易损坏砂芯; 拆分后的各芯子在合箱时, 相互之间的固定也存在困难。

作者简介:

周 佼(1990-), 男, 硕士研究生, 工程师, 主要从事铸造工艺研究工作。

E-mail: zhoujiao9004@126.com

中图分类号: TG242

文献标识码: B

文章编号: 1001-4977(2021)10-1183-05

收稿日期:

2021-08-15 收到初稿,

2021-09-10 收到修订稿。

而3D打印技术在复杂结构的成形方面比较大的优势,利用3D打印可以将内腔复杂结构的砂芯打印成一个整体,能够确保砂芯的整体强度及尺寸精度,因此,考虑采用3D打印的组芯方案。

2 铸造工艺设计

2.1 确定铸造方案

根据铸件的结构特点,综合考虑冒口的设计以及充型等,确定法兰朝下的铸造工艺方案,如图2所示。

2.2 尺寸设计

由于产品尺寸公差严格,需严格控制贴量,综合考虑涂料层的厚度、合箱过程中的偏差以及热处理和抛丸过程中的损耗等因素,铸造毛面设计2 mm贴量,加工面正常设计加工余量。铸造缩尺设计为2%。

2.3 冒口、冷铁设计

冒口采用模数算法进行设计。模数是指凝固体积与散热表面积之比,计算公式为 $M=V/A$,其中 M 为模数, V 为凝固体积, A 为凝固体散热表面积^[4]。一般先计算出铸件热节处的模数,再计算冒口的模数,其模数关系为: $M_{\text{冒}}=1.2\sim 1.4M_{\text{热}}$ (明冒口取1.2,暗冒口

取1.4)。

冒口根据铸件的热节进行设计,同时还要考虑利于冒口的有效补缩。在底部法兰上设计3个暗冒口进行补缩,由于暗冒口较小,设计成砂冒口,冒口之间设计冷铁进行分区;顶部设计1个明冒口,且将内腔部分铸实,使明冒口具有良好的补缩通道。冒口、冷铁设计完的初步工艺如图3所示。通过MAGMA软件凝固模拟进行验证,模拟结果如图4所示,可见此工艺方案无超标缺陷显示。

2.4 浇注系统设计

浇注系统必须保证钢液平稳、迅速且连续地进入型腔,并能够顺利排气、浮渣,同时调节型腔内的温度分布,强化铸件补缩^[5]。

考虑到泵盖浇注重量小,在底部两个暗冒口处设计内浇道进流,内浇道流速控制在1 m/s以内,同时再利用模拟软件对浇注系统进行优化改进。浇注系统设计如图5所示。

3 成形方案设计

根据前文分析,此产品不适合用传统方法成形。若采用传统方法,内腔由于结构复杂,砂芯不能设计

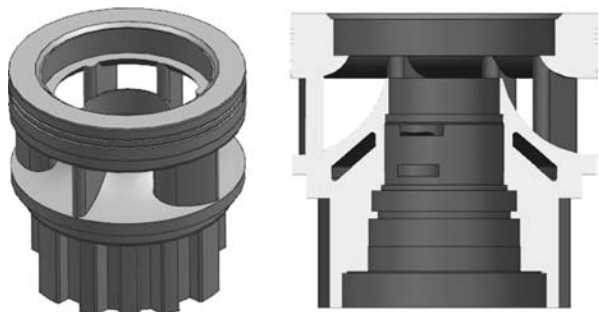


图1 前泵盖三维图

Fig. 1 3D model of front pump cover

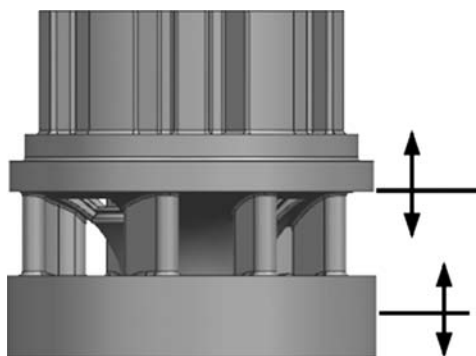


图2 前泵盖铸造工艺方案

Fig. 2 Casting process scheme of front pump cover

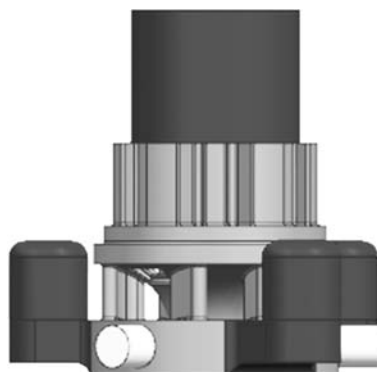


图3 前泵盖的初步铸造工艺方案

Fig. 3 Original casting process of front pump cover

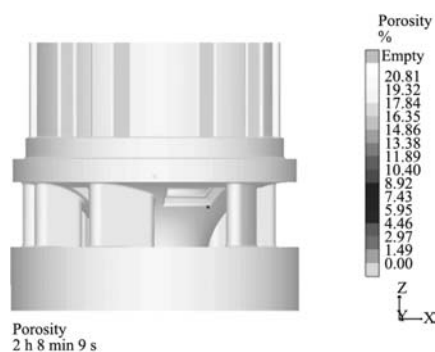


图4 初步铸造工艺方案的凝固模拟结果

Fig. 4 Simulation result of solidification for original casting process

成一个整体芯, 否则无法制造, 需将砂芯拆分成若干个小砂芯。首先在设计砂芯时要考虑拆分位置、拆分方式及小砂芯之间的相互定位; 其次在设计芯盒时要考虑起模拆芯的便捷性, 芯盒中会有很多小的活块; 在实际的制芯操作过程中也同样有很多问题, 砂芯结构复杂, 不易填砂紧实, 拆芯时容易损坏砂芯等; 合箱过程中的操作也有很多困难之处, 如砂芯之间的定位、尺寸控制等。总之, 采用传统的制芯方式, 从砂芯设计、芯盒设计到实际的制芯、合箱操作一系列过程都会比较复杂, 难度较大, 且整个过程持续时间长, 生产周期较长。而3D打印技术可以完全避免上述问题, 3D打印砂芯无需制作芯盒, 可以将内腔的复杂结构砂芯整体打印出来, 且砂芯有较高的尺寸精度, 合箱过程中也避免了多个小砂芯的组配。3D打印砂芯不仅利于现场操作, 还会大大降低生产周期, 通常24 h就可以完成一箱砂芯的打印工作。

根据铸造工艺, 结合砂芯的吊运、刷涂操作以及合箱过程的尺寸控制等, 设计四个砂芯。其中1#、2#、3#砂芯形成了铸件的整体轮廓, 4#砂芯是冒口芯。分型面位置选择在下法兰的中间部位及中法兰的底部。

1#砂芯与2#砂芯从下法兰的中间位置分型, 此处分型能将浇道及暗冒口颈分成两部分, 便于砂芯的施涂操作, 否则由于空间狭窄, 无法确保浇道及冒口颈处的施涂质量, 容易造成冲砂, 影响铸件质量。2#砂芯与3#砂芯从中法兰的底部分型, 3#砂芯形成中法兰以上的铸件外轮廓; 2#砂芯最为复杂, 形成铸件最复杂部分的

轮廓, 包括狭窄气道及两个法兰之间的连接筋。

每个砂芯上设计四个吊把, 确保吊运的平衡性, 同时便于翻芯操作。1#-3#砂芯上均设计了螺栓孔, 用于下芯后在其中穿入螺杆将三个砂芯固定在一起, 防止漂芯。每两个砂芯之间均设计定位, 防止合箱过程中的错偏, 确保型腔尺寸。图6为3D打印的四个砂芯三维图。

4 生产验证

4.1 砂芯打印

3D打印设备选用KOCEL AJD 2500B型打印机, 该打印机可打印的最大尺寸为2 500 mm × 1 800 mm × 1 000 mm, 打印层厚0.2~0.5 mm, 打印精度±0.35 mm, 打印效率200~500 L/h, 可满足此产品砂芯的打印。打印使用的是硅砂, 粘结剂使用的是呋喃树脂+固化剂。图7为打印出来的3#砂芯。

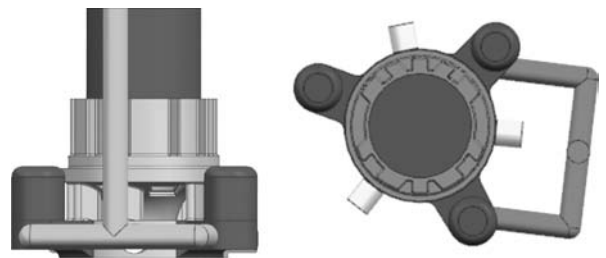


图5 前泵盖铸件的浇注系统设计

Fig. 5 Gating system design of front pump cover casting

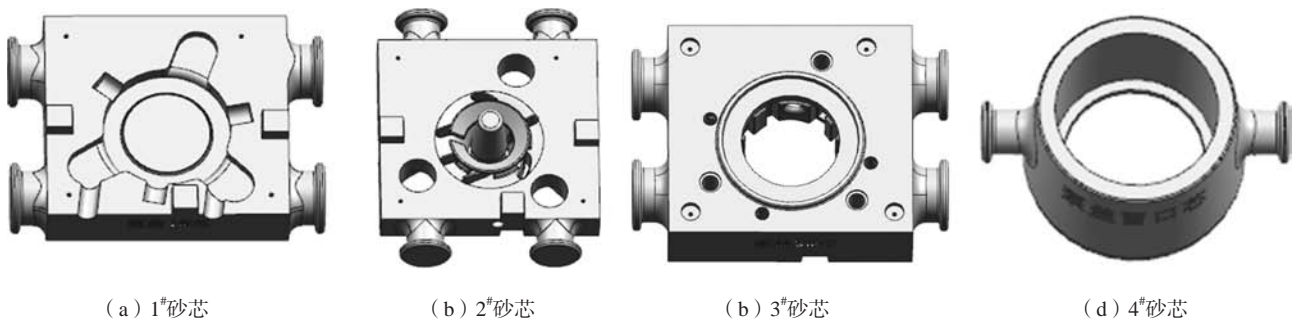


图6 3D打印砂芯三维图

Fig. 6 Graphic models of 3D printed cores

4.2 造型、浇注

首先在地坑里面刮出砂床, 确保砂床平整, 在砂床上下芯, 将1#-4#砂芯依次叠放, 通过砂芯之间的定位进行固定, 下芯完成后在芯子周围填砂造型, 造型完成后等待浇注, 如图8所示。

4.3 铸件验证

对实际生产出来的铸件进行各项验证, 均符合要求。

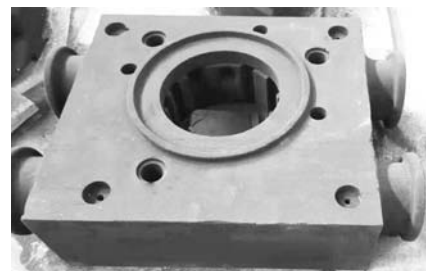


图7 3D打印的3#砂芯实物图

Fig. 7 3# sand core prepared by 3D printing

(1) 化学成分及力学性能。经检测,铸件化学成分和力学性能均符合要求,分别如表1、表2所示。

(2) 外观及无损检测。铸件的外观质量良好,如图9所示,狭小气道内有轻微粘砂,可以很容易地清理

掉,说明采用3D打印砂芯也可以获得良好的铸件表面质量;无损检测无超标缺陷,如图10所示。

(3) 尺寸检测。利用三维检测仪对铸件进行划线,整体尺寸良好,铸造面除个别部位+2 mm外,

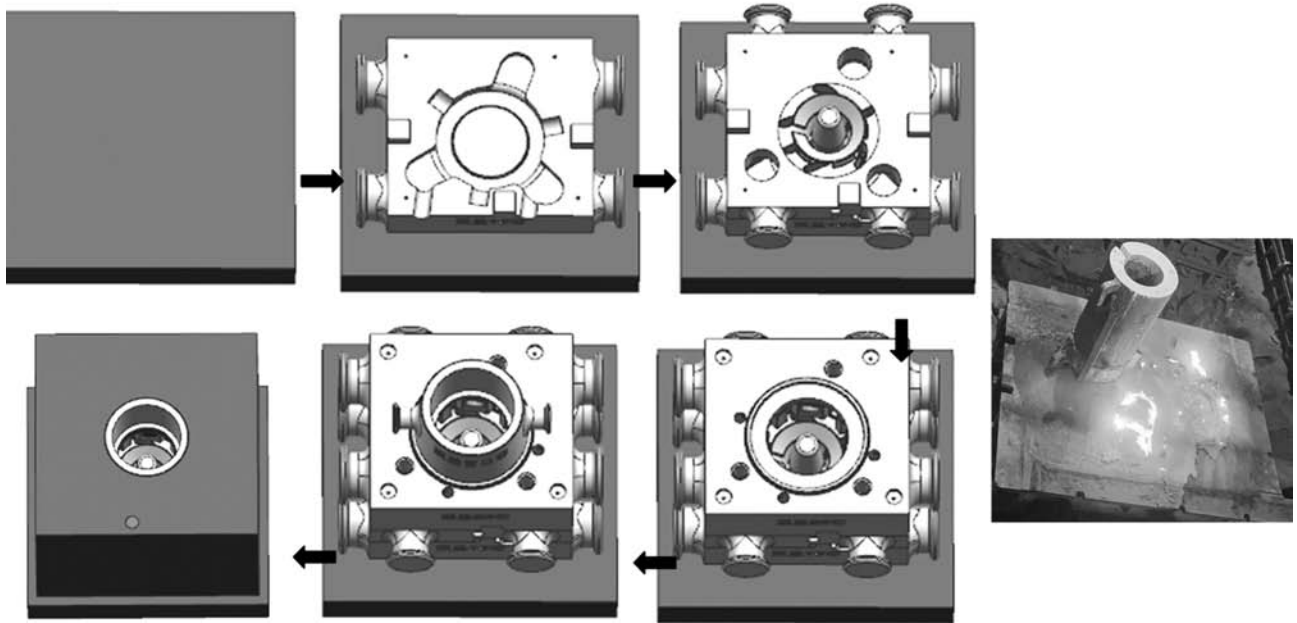


图8 造型及浇注过程

Fig. 8 Molding and pouring processes

表1 铸件化学成分
Table 1 Chemical compositions of casting

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	$w_B/\%$
标准	≤ 0.04	≤ 0.6	≤ 1	≤ 0.028	≤ 0.008	12.5~13.5	4.5~5.5	0.4~1	
实测值	0.03	0.46	0.85	0.02	0.003	12.7	4.7	0.52	

表2 铸件力学性能
Table 2 Mechanical properties of casting

项目	抗拉强度/MPa	屈服强度/MPa	伸长率/%	断面收缩率/%	硬度HB	冲击功(0℃)/J
标准	≥ 780	≥ 580	≥ 20	≥ 55	220~285	≥ 100
实测值	792	650	22.3	72	255	176



图9 铸件外观质量

Fig. 9 Visual quality of casting



图10 铸件无损检测结果

Fig. 10 Non-destructive testing results of casting

其余均在公差范围内，尺寸超差部位可通过打磨达到要求。

5 结束语

对于此类结构复杂的泵盖铸件，采用3D打印的方

案可有效解决其成形问题。通过上述验证结果可以看出，使用此铸造工艺方案及3D打印的成形方案生产出来的铸件各项性能指标均符合要求，铸件具有良好的尺寸及表面质量。因此，通过此方法能够生产出合格的给水泵泵盖铸件。

参考文献：

- [1] 高二玲. 常规岛主给水泵的研究 [D]. 江苏：江苏大学，2019.
- [2] 陆金琪. 一种主给水泵：中国，201310126118.4 [P]. 2013-07-10.
- [3] 左强，杨国娟，洪润洲，等. 应用砂型3D打印技术制备复杂铝合金铸件 [J]. 铸造，2021（4）：493-497.
- [4] 赵成志，张贺新. 铸造工艺设计与实践 [M]. 北京：机械工业出版社，2017：186.
- [5] 郭小强，杨国梁，唐钟雪，等. 蒸汽轮机内缸铸件研发 [J]. 铸造设备与工艺，2017（5）：21-23，37.

Research on Casting Process of Feedwater Pump Cover Based on 3D Printing

ZHOU Jiao, PAN Bao-qiang, SU Zhi-dong, NA Xue-yang
(Kocel Steel Foundry Co., Ltd., Yinchuan 750021, Ningxia, China)

Abstract:

According to the structural characteristics of the casting, the difficulties of the casting process and the molding scheme were analyzed. The computer simulation was used to optimize the casting process and the problem of casting shrinkage was solved. Since the outline size of the pump cover is relatively small, its structure is complex, and there is a closed air passage inside the casting, the conventional molding scheme cannot be used to form the casting. This problem is solved by opening the craft hole on the casting and applying the 3D printing technology. The actual test results of the casting show that all indexes meet the requirements.

Key words:

pump cover; casting process; 3D printing